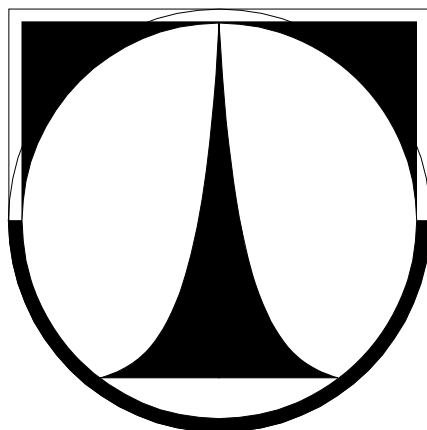


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Zkouška lisovatelnosti keramických granulátů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Kyzivát Marek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program MN2301 – Strojní inženýrství

Katedra materiálů

obor materiálové inženýrství

Zkouška lisovatelnosti keramických granulátů

The exam of ceramic granulate pressing

Bc.Marek Kyzivát

KMT – 251

Vedoucí diplomové práce: Dr.Ing.Daniel Šída

Konzultant diplomové práce: Ing. Miroslav Liška, SGAC-Turnov

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	129
Počet tabulek	42
Počet příloh	38
Počet obrázků	89

Datum:5.6.2009

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálů

Studijní program: MN2301 – Strojní inženýrství
Diplomant: Bc.Marek Kyzivát
Téma práce: Zkouška lisovatelnosti keramických granulátů

The exam of ceramic granulate pressing

Číslo DP: KMT – 251
Vedoucí DP: Dr.Ing.Daniel Šída
Konzultant DP: Ing. Miroslav Liška, SGAC-Turnov

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá lisováním keramického granulátu (NM9922F - Nabaltec), upraveného různými typy lubrikantů. U takto upravených granulátů jsou sledovány změny hustoty během procesu keramické výroby (sypná hustota – zelená hustota – hustota po výpalu). Na základě těchto změn byla provedena typizace a optimalizace vhodného typu lubrikantu.

Klíčová slova: Keramika - lisování - povlakování - korund - lubrikant

Abstract: The thesis is concerned with the pressing of ceramic granulate (NM9922F – Nabaltec) which is modified by various types of lubricants. Such modified granulates are monitored in terms of density changes while the process of ceramic production (loose density – green density – fire density). On the basis of these changes standardization and optimalization of an acceptable type of lubricant were made.

Key words: Ceramics – pressing – coating – corundum - lubricant

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 5.6.2009

Podpis:

Poděkování:

Děkuji všem, kteří mi pomáhali při tvorbě diplomové práce. Především pak Ing. Miroslavu Liškovi a Dr.Ing. Danielu Šídovi z firmy Saint-Gobain Advanced Ceramics s.r.o.. Dále bych rád poděkoval celé katedře materiálů, zejména Ing. Daniele Odehnalové, která mi napomáhala cennými radami při zpracování práce.

Největší dík patří mým rodičům za podporu během studia.

OBSAH

1.	ÚVOD	10
2.	TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1	Historie keramické výroby	11
2.2	Rozdělení keramických materiálů	12
2.2.1	Přírodní keramické suroviny	12
2.2.1.1	Plastické keramické suroviny	13
2.2.1.2	Neplastické keramické suroviny	13
2.2.2	Syntetické keramické suroviny	14
2.2.3	Pomocné materiály	15
2.3	Oxid hlinitý	15
2.3.1	Výskyt	15
2.3.2	Výroba	16
2.3.2.1	Bayerova metoda	16
2.3.2.2	Tepelný rozklad podvojného síranu amonného	20
2.3.2.3	Tavený korund	21
2.3.3	Využití Al_2O_3	21
2.3.4	Vlastnosti Al_2O_3	21
2.4	Příprava keramických granulátů	24
2.4.1	Mletí keramických hmot	24
2.4.1.1	Mlýny s volnými mlecími tělísky	24
2.4.1.2	Ostatní typy mlýnů	28
2.4.2	Rozprašovací sušárny	28
2.5	Lisování keramiky	29
2.5.1	Suché lisování	29
2.5.2	Další způsoby lisování	35
2.5.2.1	Přetokové lisování	35
2.5.2.2	Izostatické lisování (CIP)	36
2.5.2.3	Žárové lisování	37
2.5.2.4	Izostatické žárové lisování (HIP)	38
2.6	Slinování	38

2.6.1	Mechanismus procesu	39
2.6.2	Kinetika slinování	42
2.6.2.1	Zvláštnosti slinování Al_2O_3	45
2.6.3	Slinování v reálných systémech	46
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	47
3.1	Úvod do experimentální části	47
3.1.1	Granulometrický rozbor	48
3.2	Zjištění $G.D.$, $F.D.$ v závislosti na lisovacím tlaku	50
3.2.1	Měřicí zařízení a pomůcky	50
3.2.2	Postup měření	53
3.2.3	Naměřené hodnoty	53
3.2.4	Vyhodnocení experimentu	66
3.3	Zjištění průběhu lisovatelnosti	67
3.3.1	Měřicí zařízení a pomůcky	67
3.3.2	Postup měření	75
3.3.3	Naměřené hodnoty	75
3.3.4	Vyhodnocení experimentu	84
3.4	Stanovení závislosti pórovitosti na lisovacím tlaku	85
3.4.1	Postup měření	85
3.4.2	Naměřené hodnoty	85
3.4.3	Vyhodnocení experimentu	87
4.	DISKUSE VÝSLEDKŮ	88
5.	ZÁVĚR	92
6.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	93
7.	SEZNAM PŘÍLOH	94

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
E	MPa	modul pružnosti
F	N	síla
H _V	MPa	tvrdost dle Vickerse
F.D.	g.cm ⁻³	hustota po slinutí včetně pórů (fire density)
G.D.	g.cm ⁻³	zelená hustota včetně pórů (green density)
G.D. _{AKT}	g.cm ⁻³	aktuální zelená hustota včetně pórů v dutině lisovací formy
l	m	délka
Δl	m	změna délky
L.D.	g.cm ⁻³	sypná hustota (loose density)
m	kg	hmotnost
M	N.m	moment síly
n	s ⁻¹	otáčky
OH	g.cm ⁻³	objemová hmotnost
p	Pa, bar	tlak
R _f	MPa	pevnost v ohybu
R _t	MPa	pevnost v tahu
R _{pd}	MPa	pevnost v tlaku
S	m ²	plocha
t	°C	teplota
T	K	termodynamická teplota
t _{p,n}		studentův součinitel
V	m ³	objem
w	%	vlhkost
w	mm	průhyb

Symbol	Jednotka	Popis
W	J	objemová práce
S		výběrová směrodatná odchylka
\bar{S}		výběrová směrodatná odchylka střední hodnoty
α	K^{-1}	součinitel délkové roztažnosti
γ	N/m	povrchové napětí
$\bar{\kappa}$		krajní chyba aritmetického průměru
λ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	délková roztažnost
ρ	$kg \cdot m^{-3}$	hustota
σ	MPa	napětí

1. ÚVOD

Výroba keramiky patří k nejstarším oborům lidské činnosti. Z mnoha archeologických nálezů je zřejmé, že keramické výrobky provázejí člověka od doby počátečního rozvoje jeho tvůrčích schopností. První keramické předměty jsou datovány již do doby lovců mamutů, tj. do doby před 25 000 lety. Tyto předměty byly připravovány výhradně z přírodních surovin a jsou vlastně prvními umělými materiály se specifickými vlastnostmi a stabilitou těchto vlastností. Dnešní keramické materiály se od těch původních značně liší nejenom surovinovou skladbou a úrovní technologického poznání, ale i výslednými vlastnostmi. V platnosti však zůstává technologické schéma přípravy keramiky.

Moderní, progresivní konstrukční keramika se na rozdíl od tradiční keramiky vyrábí z čistých, uměle připravených sloučenin. V současné době jsou zvládnuty výroby oxidové keramiky na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 , ZnO i neoxidové keramiky na bázi karbidů (SiC , TiC), nitridů (Si_3N_4 , BN), boridů (TiB_2) a mnohých dalších speciálních keramických materiálů.

Nejpoužívanější technickou keramikou je keramika korundová. Její využití je dáno jejími vysokými mechanickými vlastnostmi – pevností a tvrdostí, elektrickou izolačností, žáruvzdorností, tepelnou a chemickou odolností.

Právě korundovou keramikou se zabývá diplomová práce, jejíž téma je „Zkouška lisovatelnosti keramických granulátů“. Jejím cílem bylo sestavení vhodného zařízení pro snadnou detekci parametrů lisovatelnosti. Na základě zvolených parametrů došlo k analýze vlivů (vliv aditiv, granulometrie a lisovacího nástroje) ovlivňujících lisovací proces.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Historie keramické výroby

Slovo keramika je řeckého původu. Původně se slovem keramos označoval roh k pití, později se toto slovo stalo souhrnným označením pro všechny výrobky sušené a pálené z hlíny. Mimo to bylo v Athénách možno nalézt čtvrť Kerameikos, ve které se keramika vyráběla.

Výroba keramiky je jednou z nejstarších lidských činností. První keramické předměty vznikly dávno před počátkem našeho letopočtu. O keramice můžeme mluvit např. již v souvislosti s nálezy nejrůznějších figurek, nejčastěji zvířat, na Moravě v okolí Dolních Věstonic a Pavlova. Zde byla nalezena i Věstonická Venuše, která pochází s největší pravděpodobností z doby lovců mamutů (před cca 25 000 lety). Věstonická Venuše byla vypálena z hlíny s příměsí organických materiálů.

Nejstarší keramické nádoby byly nalezeny v jižní Číně a jsou datovány do 11. tisíciletí př.n.l. Jednalo se však pouze o ručně tvarované předměty s teplotou výpalu kolem 800 °C. Významným technickým průlomem byl objev hrnčířského kruhu. Určení přesného data a místa vzniku je však složité, protože hrnčířský kruh vznikl postupným vývojem a zdokonalováním otočných desek. Nejpravděpodobnějším datem pro jeho první použití je rok 2300 př.n.l. na území Sumeru.

První glazury byly vyvinuty kolem roku 4000 př.n.l. v Egyptě a Mezopotámii. Ve 2. tisíciletí př.n.l. se rozvinula ve staré Asyrii a Babylonii výroba barevných glazovaných obkládaček. Na tuto tradici navázala islámská kultura ve druhé polovině 1. tisíciletí n.l., kdy se tyto obkládačky používaly při stavbách mešit a paláců.

Velice významnou oblastí z hlediska vývoje keramiky je Čína. V letech 221 – 206 př.n.l. zde byly zhotoveny hliněné figury v životní velikosti s využitím olovnatých, později i seladonových glazur. Období 6. století n.l. je charakteristické vývojem čínského porcelánu, který vznikl v okolí města Tiang-Te-Čen, kde se nachází ložiska hornin bohatých na kaoliny a živce, po jejichž výpalu vznikla bílá průsvitná hmota. Z Číny pochází i název pro surovinu kaolín, pojmenovanou podle místa naleziště – horského hřebenu Kao-Ling.

V Evropě byl čínský porcelán napodobován teprve v 15. století v italských městech Neapol, Urbino a Faenza. Název tato keramika dostala zkomolením města Faenza na fajáns. Během 17. století se tento typ keramiky rozšířil do celé Evropy, na našem území do oblasti Moravy.

V roce 1709 objevil J.F.Böttger spolu s E.W. von Tschirnhausem složení a technologii výroby tvrdého porcelánu, jehož výroba byla zahájena v roce 1710 v Míšni.

Na našem území byla založena první porcelánka v roce 1792 v Horním Slavkově, další pak o rok později v Klášterci nad Ohří. Na počátku 19. století, kdy bylo zdokonaleno plavení kaolinu, který se těžil v okolí Karlových Varů, vzniká celá řada dalších závodů (Dubí, Rakovník, Chlumčany, Horní Bříza...).

Pro 20. století je typická expanze keramiky do celé řady dalších oborů lidské činnosti. Surovinová základna se postupně rozrůstala a zdokonalovala a mimo klasických hmot se využívají celé řady nově vyvinutých keramických hmot. Jedná se zejména o oxidové keramiky na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 a ZnO , titaničité hmoty, piezokeramické hmoty a neoxidové keramiky na bázi karbidů, boridů a nitridů.

[1, 12]

2.2 Rozdělení keramických materiálů

Keramické suroviny lze dělit podle nejrůznějších hledisek. Nejčastějším a nejpraktičtější hlediskem je jejich původ. Podle něj je dělíme na keramiky přírodní a syntetické. V některých publikacích se uvádí ještě třetí skupina, a to keramika druhotná (odpadní). Sem řadíme takové suroviny, které v určitých průmyslových odvětvích odpadají a lze je s výhodou využít v určitých keramických výrobcích. Řadíme sem např. různé strusky, popílky, kaly apod. [1, 2, 12]

2.2.1 Přírodní keramické suroviny

Přírodními keramickými surovinami nazýváme ty, které jsou tvořeny zejména zeminami a horninami. Zeminy tvoří základ plastických surovin a horniny jsou využívány jako ostřiva a tativa. [1, 2, 12]

2.2.1.1 Plastické keramické suroviny

Plastické keramické suroviny jsou materiály, které jsou při přiměřeném obsahu vody dobře plastické a které ztvrdnou po vysušení a následném vypálení.

Typickým představitelem této skupiny jsou jílovité suroviny. Ty obsahují tři významné minerály – kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), illit ($\text{KAl}_4(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$) a montmorillonit ($\text{NaAl}_3\text{MgSi}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$). K méně významným pak řadíme halloysit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Základní charakteristikou plastických keramických surovin je jejich granulometrické složení. Rozlišujeme tři základní frakce.

- **jílovina** (zrna menší než 2 μm)
- **prachovina** (zrna o velikosti 2 – 50 μm)
- **pískovina** (zrna o velikosti 50 μm – 2 mm)

Podle hmotnostního objemu jednotlivých frakcí se pak tzv. jemnozemě dělí na:

- **jíly** - zeminy s obsahem 50 – 100 % jíloviny, 0 – 50 % prachoviny a 0 – 50 % pískoviny
- **hlíny** – zeminy s obsahem 20 – 50 % jíloviny, 0 – 80 % prachoviny a 0 – 80 % pískoviny
- **prach** - zeminy s obsahem 0 – 20 % jíloviny, 35 – 100 % prachoviny a 35 – 45 % pískoviny
- **písek** - zeminy s obsahem 0 – 20 % jíloviny, 35 – 60 % prachoviny a 40 – 100 % pískoviny
- **kaoliny** - zeminy s obsahem 45 – 65 % jíloviny, 0 – 55 % prachoviny a 0 – 55 % pískoviny [1, 2, 12]

2.2.1.2 Neplastické keramické suroviny

Do neplastických přírodních surovin řadíme ostřiva a tativa. V keramice mají funkci přísad, protože samostatně nejsou schopné vytvářet plastická tělesa.

Ostřiva snižují smrštění výrobku při sušení, zmenšují adhezi plastických hmot k formám a podložkám, zvyšují teplotu výpalu a ovlivňují mechanické vlastnosti během celého technologického zpracování. Můžeme je rozdělit do 3 základních skupin:

- **křemičitá** (křemen SiO_2)
- **hlinitokřemičitá** (šamot, lupek)
- **zvláštní** (korund $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$, karbid křemíku SiC , grafit, dřevěné piliny, práškové uhlí, rašelina apod.)

Tativa jsou suroviny, jež za syrova působí obdobně jako ostřiva, tj. snižují plastičnost hmot a smrštění sušením. Při výpalu podporují slinování, čímž snižují teplotu výpalu. Dělíme je do dvou skupin:

- **živcová** (živec sodný $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, živec draselný $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, živec vápenatý $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)
- **neživcová** (vápenec CaCO_3 , magnezit MgCO_3 , dolomit $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, mastek $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [1, 2, 12]

2.2.2 Syntetické keramické suroviny

Jsou suroviny využívané v konstrukční keramice. Řadíme k nim zejména oxidy (Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , MgO , CaO , Y_2O_3 , HfO_2 , ThO_2 , BeO , CeO_2), nitridy (Si_3N_4 , AlN , BN) a karbidy (SiC , B_4C , TiC). [1, 2, 12]

Tab. 2.1: Vlastnosti vybraných syntetických keramických surovin [1, 2, 12]

Materiál	Hustota ρ [g/cm ³]	Teplota tání [° C]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Tepelná vodivost λ [W/mK]	Tepelná roztlačnost $\alpha \cdot 10^{-6}$ [K ⁻¹]	Tvrdost Vickers [GPa]
SiC	3,21	2500	3900	480	120	5,3	26
B ₄ C	2,51	2450	2600	470	30 - 42	5,0	35
TiC	4,93	3100	2500	322	110	8,0 - 8,6	30
TiB ₂	4,38	3225	---	560	---	7,8	30 - 33
BN (cub.)	3,48	2730	---	660	---	---	50
Si ₃ N ₄	3,18	1900	---	320	32 - 35	3,1	16 - 21
AlN	3,26	2200	2100	330	140 - 180	4,5	11
Al ₂ O ₃	3,99	2054	5500	400	26 - 39	7,0 - 8,0	20
ZrO ₂	6,10	2710	2000	250	2,0 - 4,5	10,5 - 11,0	13
Cr ₂ O ₃	5,21	2435	---	105	10 - 33	7,8 - 8,1	30
MgO	3,58	2826	---	250	10 - 35	10,8	7
ThO ₂	9,86	3050	---	240	---	9,5	---
HfO ₂	9,68	2810	---	---	---	6,8	---
Y ₂ O ₃	5,03	2460	---	180	---	6,8	---
CaO	3,32	2614	---	---	7 - 14	13	---
TiO ₂	4,25	1830	---	---	3 - 4	7,1 - 9,2	---
BeO	3,01	2570	---	390	210	8,9	---
CeO ₂	7,22	2750	---	165	12	13,0	---

2.2.3 Pomocné materiály

K pomocným materiálům patří ty materiály, které nejsou přímo součástí výrobní hmoty, nebo se do výrobní hmoty používají, ale po výpalu výrobku již nemají rozhodující vliv na jeho vlastnosti (nebo dokonce při výpalu vyhoří). Řadíme k nim zejména sádku, šelak, mýdla, fermež, sírografit, epoxidové pryskyřice, oleje, různé plastifikátory a také vodu. [2]

2.3 Oxid hlinitý

2.3.1 Výskyt

Oxid hlinitý je v technické keramice nejpoužívanějším oxidem. V přírodě se nachází jako minerál korund (α -Al₂O₃). Jeho výroba pro keramické účely je založena na zpracování přírodního bauxitu. Ten obsahuje hydroxid hlinitý – gibbsit γ - Al(OH)₃ nebo některý z hydroxidů – oxidů hlinitých jako jsou např. boehmit

γ -AlO.OH nebo diaspor α -AlO.OH. Mimo to je bauxit znečištěn podle lokality oxidy SiO_2 , TiO_2 a Fe_2O_3 . [5, 13]

Tab. 2.2: Přehled nejběžnějších minerálů hliníku [13]

Minerál	Chemický vzorec	Hmot. % Al_2O_3
Korund	Al_2O_3	100
Diaspor, Boehmit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	85
Gibbsit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	65,4
Spinel	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$	71
Kyanit, Andaluzit, Silamanit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	63
Kaolinit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39,5
Alunit	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$	37
Nefelín	$(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	32,3 - 35,9
Leucit	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	23,5
Sericit	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	38,4

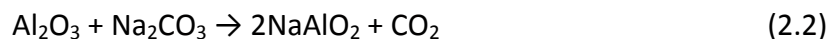
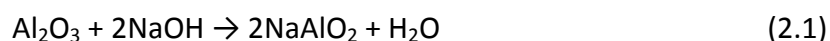
V současné době se světová výrobní kapacita z bauxitu odhaduje na 130 milionů tun za rok, přičemž v těžbě dominuje Austrálie, Guinea, Jamajka, Brazílie a Čína. Dalšími zeměmi, ve kterých se bauxit těží ve významném množství, jsou Venezuela, Indie, USA a Rusko. Současné známé zásoby bauxitu jsou odhadovány na zhruba 50 bilionů tun. [13]

2.3.2 Výroba

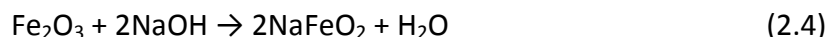
Vzhledem k amfoternímu charakteru oxidu hlinitého je možné ho získávat z bauxitu jak zásaditými, tak i kyselými metodami. V současné době je využíváno výhradně zásaditých metod. Nejvyužívanější z nich je tzv. Bayerův postup. [5,13]

2.3.2.1 Bayerova metoda

Tato metoda je založena na rozkladu mletého bauxitu v ocelovém autoklávu koncentrovaným roztokem hydroxidu sodného NaOH (popř. uhličitanu sodného Na_2CO_3) při teplotách 160 – 250 °C a tlacích 0,4 – 1,5 MPa. Celý proces lze charakterizovat rovnicemi (2.1) a (2.2). [5, 12]



Mimo základní reakce hydroxid sodný reaguje rovněž s nečistotami obsaženými v bauxitu. Tyto reakce lze popsat rovnicemi (2.3 – 2.5). [5, 13]



Následuje filtrace, při níž se odděluje hlinitan sodný od sraženiny, tzv. červeného kalu, tvořeného převážně z oxidů železa, titanu a křemíku. Vzniklý hlinitanový roztok se ředí na koncentraci 150 g Al_2O_3 na m^3 roztoku a následuje přidání zárodečných krystalů $\text{Al}(\text{OH})_3$ pro dosažení požadované krystalizace. Po jejím průběhu se odfiltruje vykrystalovaný hydrargillit γ - $\text{Al}(\text{OH})_3$, který se po praní kalcinuje při teplotě 1200 °C na α - Al_2O_3 .

Takto vyrobený Al_2O_3 je tvořen pórovitými shluky o velikosti v řádu jednotek až desítek μm . Tyto shluky jsou složeny z elementárních krystalků, mezi nimiž jsou póry vzniklé při dehydrataci. Shluky jsou pozůstatkem původních krystalků hydroxidu. [1, 5, 13]

Mimo Al_2O_3 (~ 99,5 %) obsahuje takto vyrobený oxid hlinitý obvykle několik desetin Na_2O (0,3 – 0,5 %), pod 0,1 % SiO_2 a pod 0,03 % ostatních nečistot. Na_2O přitom pochází z alkalického rozkladu a jeho obsah je závislý na účinnosti praní. V současné době se vyskytují na trhu oxidy hlinité, jež mají obsah Na_2O i pod 0,1 %. [5, 12, 13]

Na_2O výrazně ovlivňuje vlastnosti korundových hmot po výpalu. Způsobuje zhoršení slinovacího procesu, zvyšuje dielektrické ztráty a snižuje izolační odpor.

Přítomnost SiO_2 do obsahu 0,1 % pro běžné aplikace nevadí, pouze pro speciální aplikace je nutné dodržet obsah nižší než 0,01 %.

Dále bývá v oxidu hlinitém v malém množství CaO . Ten vadí pouze při vyšším obsahu, kdy zhoršuje korozní odolnost.

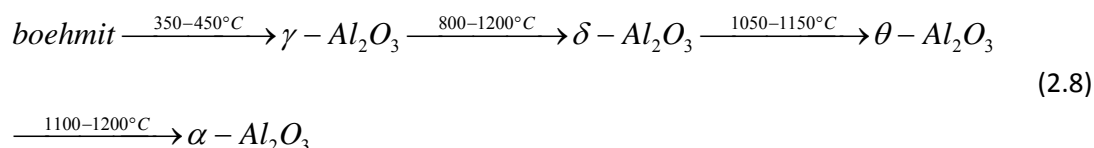
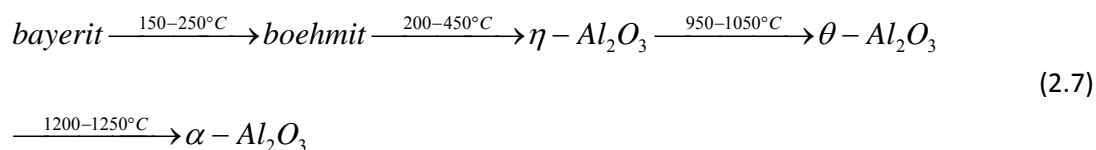
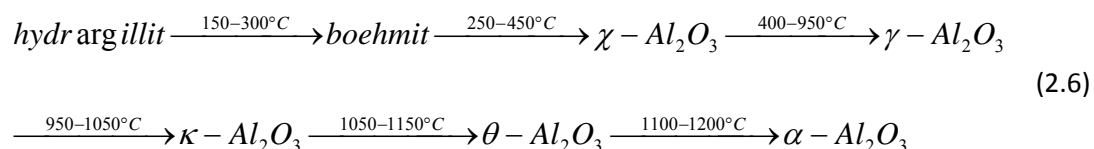
Mimo předchozích oxidů se mohou vyskytnout i oxidy TiO_2 a Fe_2O_3 , které působí jako pigmenty a tím negativně ovlivňují korundovou hmotu. [12, 13]

Výsledné vlastnosti Al_2O_3 po kalcinaci jsou závislé především na teplotě kalcinace, ale také na typu výchozího hydroxidu a sledu jeho modifikačních přeměn.

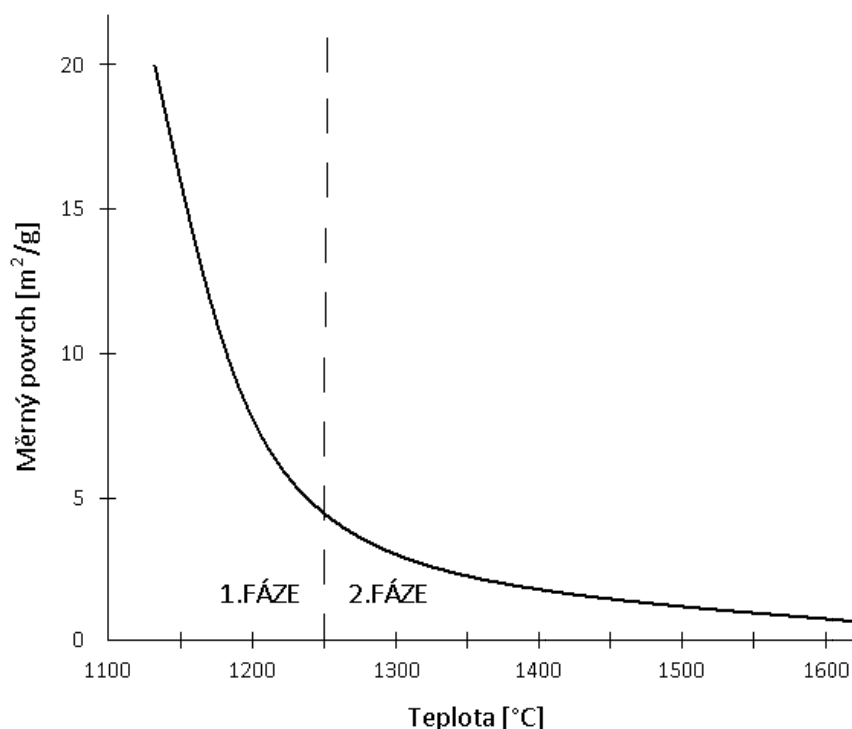
Čtyřmi základními hydroxidy jsou:

Hydrargillit (gibbsit)	$\gamma\text{-Al(OH)}_3$, monoklinický
Bayerit	$\alpha\text{-Al(OH)}_3$, hexagonální
Boehmit	$\gamma\text{-AlO(OH)}$, rhombický
Diaspor	$\alpha\text{-AlO(OH)}$, rhombický

Mimo bayeritu je možné zbylé tři modifikace nalézt v přírodě. Jak již bylo zmíněno, každý z těchto hydroxidů prodělává celou řadu modifikačních změn (2.6-2.9). Při teplotách kolem 1200°C však přechází všechny zmíněné typy hydroxidů na stabilní $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Jeho velkou předností je, že nenastává jeho zpětný přechod na metastabilní $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ a zůstává tedy stabilní až do teploty tání. Tato skutečnost je z keramického hlediska velice výhodná, neboť během teplotních změn nenastávají žádné objemové změny. [5]



Jak již bylo zmíněno, při 1200 °C přechází všechny typy výchozích hydroxidů do stabilního stavu. Z tohoto důvodu se kalcinuje právě při těchto teplotách. Takto kalcinovaný Al_2O_3 se skládá z pórovitých částic, jež se při výpalu na vyšší teploty smršťují, a tím zvětšují i smrštění keramických výrobků. Proto se často provádí ještě jedna kalcinace, obvykle na teploty shodné s teplotou výpalu (1400 – 1700 °C). [5, 12]

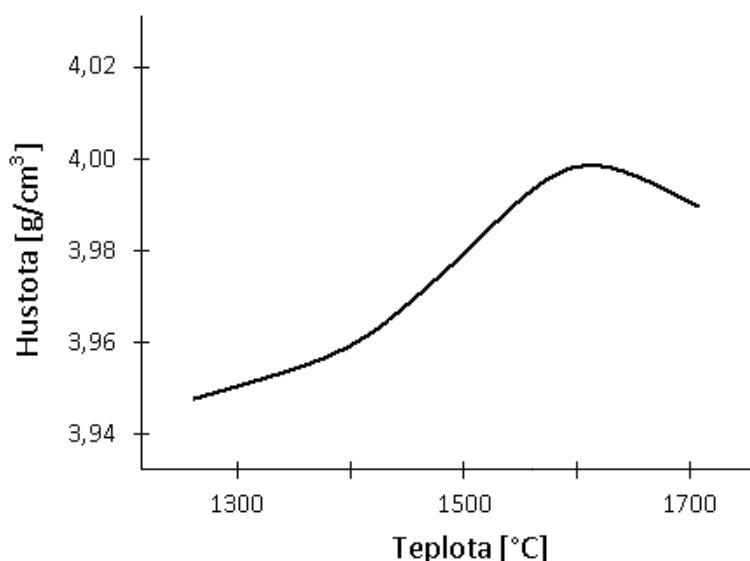


Obr. 2.1: Závislost měrného povrchu Al_2O_3 na kalcinační teplotě [5]

Jak je možné vidět na obr. 2.1, snižování měrného povrchu můžeme rozdělit do dvou fází. V první fázi (do 1250 °C) se uzavírají malé póry mezi jednotlivými elementárními částicemi, z nichž jsou utvořeny větší pórovité částice (shluky). Ty se uzavírají až ve druhé fázi za vyšších teplot (nad 1400 °C). Pro první fázi jsou typické změny vnitřních ploch, pro druhou fázi změny vnějších ploch. [5, 12]

Rozdílné kalcinační teploty způsobují i změny dalších fyzikálních vlastností, zejména hustoty. Závislost hustoty na kalcinační teplotě je znázorněna na obr. 2.2. Jak je vidět, maximální hustoty se dosahuje při kalcinačních teplotách kolem 1600 °C. Pokles při vyšších teplotách lze vysvětlit tím, že při slinovacím procesu,

který se zde začíná uplatňovat, se tvoří uzavřené póry, které poněkud snižují dosažené hustoty. [5]



Obr. 2.2: Závislost hustoty na kalcinační teplotě [5]

Pro snížení kalcinačních teplot je často přidáván tzv. mineralizátor. Zejména jsou k těmto účelům využívány přídavky fluoridů (např. AlF_3) v desetinách procenta. Díky mineralizátoru dochází k růstu krystalů již za teplot o zhruba 400 °C nižších než bez mineralizátoru. Průměrné velikosti částic 3 μm Al_2O_3 lze touto metodou dosáhnout podle koncentrace AlF_3 při teplotách 1050 – 1250 °C již za 1 hodinu. Při vyšších teplotách vznikají krystaly o velikosti desítek μm destičkovitého tvaru. [5]

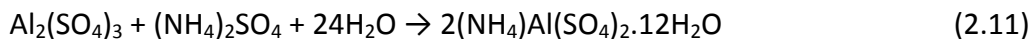
2.3.2.2 Tepelný rozklad podvojného síranu amonného

Kromě nejznámějšího postupu výroby oxidu hlinitého – Bayerova postupu, který je nejrozšířenější, se využívá i dalších metod výroby.

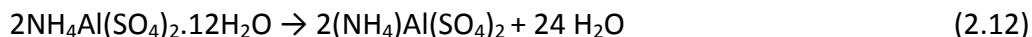
Jednou z těchto metod je tepelný rozklad podvojného síranu amonného. Výchozí látkou je v tomto případě kovový hliník o vysoké čistotě, který se rozpouští v kyselině sírové na síran hlinitý podle rovnice (2.10).



Následné krystalizace podvojného síranu hlinitého se dosáhne přidávkou roztoku síranu amonného (2.11).



A konečná fáze-kalcinace lze vyjádřit rovnicemi (2.12 – 2.13)



Samotná kalcinace probíhá při teplotě 1080 °C a výsledkem této reakce je $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$, který se vyznačuje velmi malou velikostí částic $d = 0,011 - 0,014 \mu\text{m}$. [1]

2.3.2.3 Tavený korund

Jedná se o způsob přípravy, při němž se taví Al_2O_3 v elektrickém oblouku. Vzniklé bloky se při ochlazování přemění na polykrystalický $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$. Výsledný produkt se následně drtí, rozemílá a třídí na frakce, které se využívají zejména jako brusiva a zčásti také pro jiné např. keramické účely. [1, 12]

2.3.3 Využití Al_2O_3

Největší část světové produkce Al_2O_3 je využita k výrobě hliníku (cca 90 %). Zbytek se využívá k výrobě keramiky (cca 35 %), žáruvzdorných materiálů (cca 30 %), brusiv (cca 25 %), skla a smaltů (cca 5 %) a v dalších aplikacích. [1, 13]

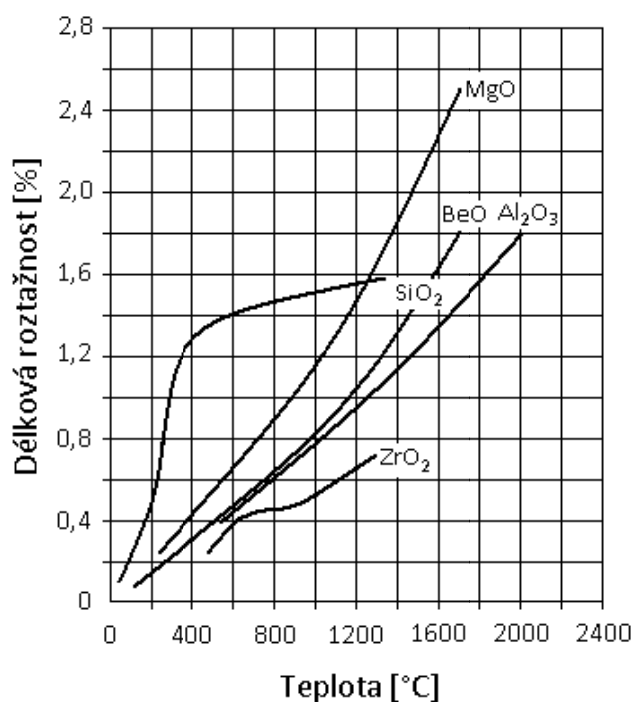
2.3.4 Vlastnosti Al_2O_3

Keramika z oxidu hlinitého, tzv. korundová keramika je vůbec nepoužívanější oxidovou keramikou. Jedná se o α fázi Al_2O_3 s bodem tání 2044 °C. Lze ji rozdělit podle obsahu oxidu hlinitého do čtyř skupin a to s obsahem 80 – 86 % Al_2O_3 , s obsahem 87 – 95 % Al_2O_3 , s obsahem 96 – 99 % Al_2O_3 a s obsahem vyšším než 99 % Al_2O_3 . Obsah oxidu hlinitého předurčuje vlastnosti korundové keramiky. [1,5,12]

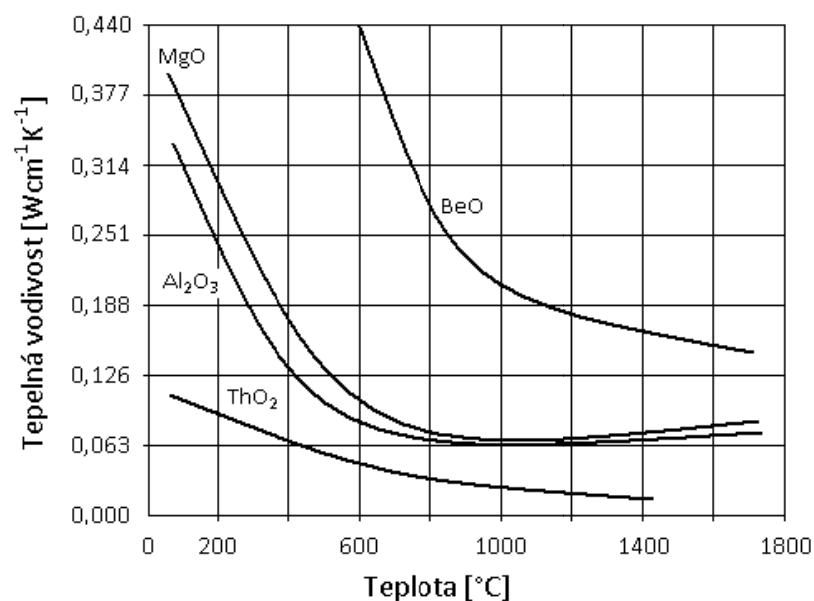
Tab. 2.3: Vlastnosti jednotlivých skupin korundové keramiky[1,5,12]

Vlastnost	Obsah Al_2O_3 (hmot. %)			
	80 - 86	87 - 95	96 - 99	> 99
Hustota ρ [g/cm^3]	3,5 - 3,6	3,6 - 3,7	3,7 - 3,8	3,8 - 3,9
Youngův modul E [GPa]	200	300	400	400
Pevnost v ohybu R_f [MPa]	200	250	280	300
Pevnost v tahu R_t [MPa]	120	130	140	150
Pevnost v tlaku R_{pd} [MPa]	2000	2000	2000	3000
Tvrdost dle Vickerse H_v [MPa]	1500	1500	1600	2000
Koef. délkové teplotní roztažnosti $\alpha \cdot 10^{-6}$ [K^{-1}]	6	7	7,5	8
Tepelná vodivost λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	10 - 16	14 - 24	16 - 28	19 - 30

Z uvedené tabulky je vidět, že s rostoucí čistotou korundové keramiky dochází ke zvýšení jednak mechanických vlastností, ale také tepelné roztažnosti a vodivosti.

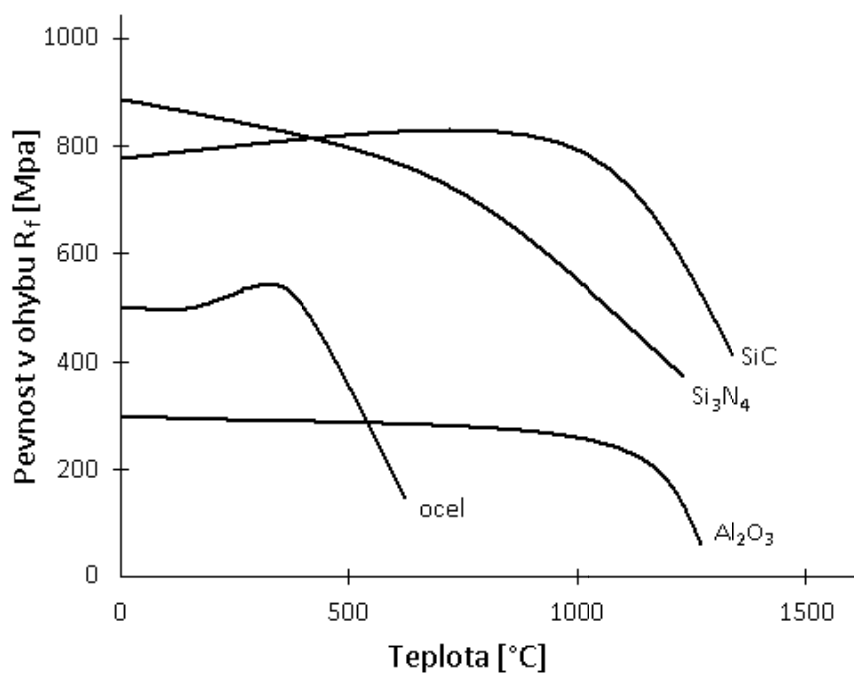


Obr. 2.3: Teplotní roztažnost vybraných oxidů v závislosti na teplotě [5]



Obr. 2.4: Teplotní vodivost vybraných oxidů v závislosti na teplotě [5]

Dalšími významnými vlastnostmi, kterými se oxid hlinitý vyznačuje, jsou vysoká chemická odolnost vůči kapalinám (včetně kyseliny fluorovodíkové), odolnost vůči plynům (mimo fluoru) a taveninám. Kromě toho si zachovává své mechanické vlastnosti i za vysokých teplot. To ho předurčuje k využití na kelímky pro taveniny a řezné destičky. Takovéto výrobky jsou však křehké, lomová houževnatost korundové keramiky je pouze cca $2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. [5]



Obr. 2.5: Pevnost v ohybu v závislosti na teplotě – porovnání různých materiálů

2.4. Příprava keramických granulátů

Výroba keramických granulátů je moderním způsobem přípravy keramických hmot. Odstraňuje staré neproduktivní postupy jako jsou kalolisování, sušení, drcení hmoty, dále předlisování, znovu drcení a homogenizace jednotlivých šarží.

Při jejich výrobě dochází nejprve k namletí keramických hmot, obvykle v bubnových gravitačních mlýnech. Samotná výroba granulátu je realizována převážně rozprašovacím sušením, popř. v mlecím zařízení. [2, 12]

2.4.1 Mletí keramických hmot

Cílem tohoto procesu je dosažení požadované velikosti částic. Existuje celá řada způsobů mletí. Nejpoužívanějším je mletí v bubnových mlýnech.

2.4.1.1 Mlýny s volnými mlecími tělísky

Jedná se o mlýny, v nichž se využívá tělísek, která nemají přesně vymezenou dráhu. Mlecí tělíska mají obvykle tvar kulovitý, válečkovitý, tyčovitý, nebo jsou ve formě oblázků. Nejčastěji se využívají přírodní pazourky, keramické koule, válečky z oxidu hlinitého, ale i ocelové koule. Uvádí se do pohybu otáčením mlýna (gravitační mlýny), vibracemi (vibrační mlýny), mícháním (míchadlové mlýny) nebo pomocí trysek (tryskové mlýny). K mletí dochází narážením mlecích tělísek na částice mletého materiálu (tzv. meliva) a třením. [2]

Gravitační mlýny – do této skupiny řadíme především tzv. kulové mlýny. Podle tvaru mlecího prostoru je dělíme na mlýny bubnové, hrncové nebo troubové. Nejběžnějšími jsou mlýny bubnové.

Buben je nejčastěji ocelový, uvnitř vyzděn vhodným materiálem. Vyzdívka je volena zejména podle typu mletého materiálu. Nejvíce se v bubnech využívá silexových kamenů, keramické vyzdívky nebo otěruvzdorné pryže.

Otáčením bubnu dochází vlivem odstředivé síly k vynášení mlecích tělísek do určité výšky, odkud padají na melivo a zbylá mlecí tělíska. Způsob pohybu tělísek v bubnu je závislý zejména na frekvenci otáčení mlýna, ale také i na způsobu plnění a charakteru vyložení mlýna. [2, 12]

Důležitým pojmem jsou tzv. kritické otáčky bubnu. Ze předpokladu, že průměr tělíska d_k je mnohem menší než průměr bubnu D ($d_k \ll D$) můžeme pro kritické otáčky n_k napsat vztah:

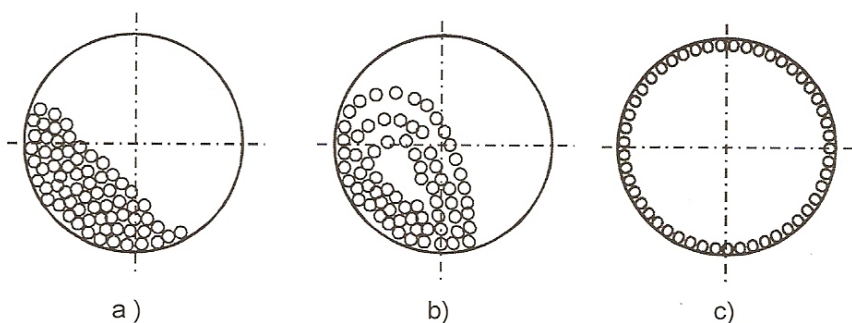
$$n_k = 42,3\sqrt{D} \quad (2.14)$$

kde je:

n_k ... kritické otáčky mlýna [s^{-1}]

D ... průměr bubnu [m]

Podle počtu otáček za minutu může mlýn pracovat ve třech mlecích režimech:



Obr. 2.6: Mlecí režimy [2]

a, kaskádový (peřejový) režim je typický tím, že se mlecí tělíska dostávají do malé výšky, takže se po sobě pouze převalují. Melivo se mele hlavně třením. Kaskádový režim se uplatňuje při nízkých otáčkách mlýna a při nízkém plnění mlecími tělíska. Je vhodný hlavně pro jemné mletí za mokra. Optimální počet otáček pro tento režim je přibližně:

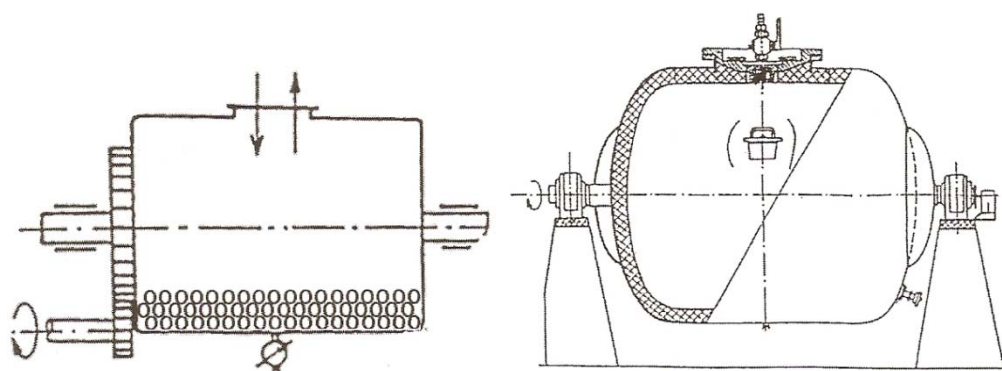
$$n_{opt} = 24\sqrt{D} \quad (2.15)$$

b, kateraktní (vodopádový) režim nastává při vyšší frekvenci otáček a hrubším vyložení mlýna. Mlecí tělíska jsou v tomto případě vynášena do větší výšky a následně padají po parabolických drahách. Mlecího účinku je dosaženo hlavně nárazem tělísek. Tento režim se uplatňuje při mletí za sucha. Optimální otáčky pro kateraktní režim jsou dány:

$$n_{opt} = 32 \sqrt{D} \quad (2.16)$$

c, při otáčkách větších než jsou otáčky kritické mluvíme o tzv. setrvačnickovém režimu. V něm jsou tělíska přitlačována odstředivou silou na stěnu bubnu a nedochází k žádnému vzájemnému pohybu, tedy ani k mletí. Překročení kritických otáček je nežádoucí.

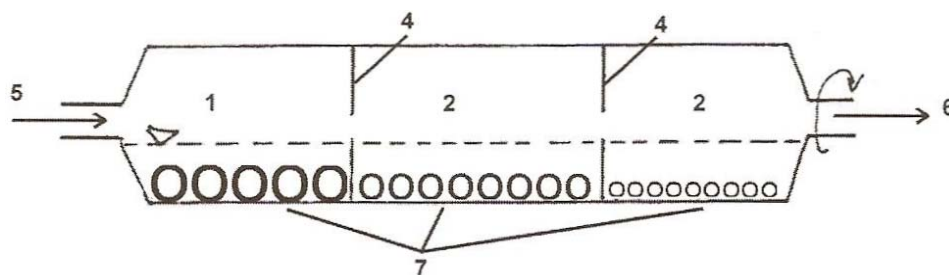
Bubnové mlýny mohou pracovat buď periodicky, nebo kontinuálně. Periodické mlýny jsou opatřené plnicím otvorem, který slouží zároveň k vyprazdňování, a dále odvětrávacím otvorem. [2, 12]



Obr. 2.7: Periodický bubnový mlýn [2]

Mlýny se plní zhruba do 2/3 objemu. Poměr hmotnosti meliva, mlecích těles a vody je volen obvykle v poměru 1 : 1 : 0,6. Při mletí za sucha se poměr meliva a mlecích těles volí tak, aby melivo vyplnilo mezery mezi mlecími tělesy. Účinnost mletí ovlivňuje i typ zvoleného tvaru mlecích tělísek. Nejvýhodnější jsou kulovité částice. Zpravidla se používají tělíska různých velikostí, protože při použití tělísek stejného rozměru a tvaru značně klesá účinnost mletí.

Kontinuální bubnový mlýn má vnitřní prostor rozdělen přepážkami (4) na několik úseků (1, 2, 3). V jednotlivých úsecích jsou tělíska (5) různých velikostí a jsou uspořádána od nejhrubších po nejjemnější. V přepážkách jsou otvory určitých velikostí, kterými prochází mletá suspenze. Mlýn je plněn kontinuálně dutým čepem (5) a na druhé straně suspenze opět dutým čepem odtéká (6). [2, 12]



Obr. 2.8: Kontinuální bubnový mlýn [2]

K mletí velmi jemných oxidických i neoxidických prášků, které jsou silně adhezivní, se často využívá bubnových mlýnů s pryžovou vložkou. Takto se melou i korundové hmoty, a to jak hrubozrnné, tak i jemnozrnné s velikostí částic pod 1 μm . Princip spočívá v tom, že pružná pryžová stěna zabraňuje svými deformacemi nalepování meliva.

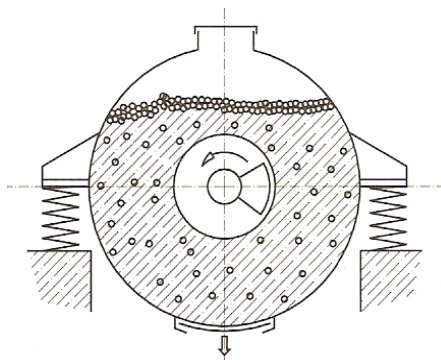
Takovéto zařízení je v podstatě sklopným mlýnem. Kovový válcový buben, v němž je vložen vak z pryže, lze naklápět do libovolné polohy. Čelní víko je zhotoveno ze stejného materiálu – kovové a pryžové desky.

Při plnění je mlýn sklopí o 70 – 80 ° od vodorovné osy vzhůru. Samotné mletí se provádí ve vodorovné poloze. Při vyprázdnění mlýna se buben sklopí nejprve do plnicí polohy, zde dojde k výměně čelního víka za silikonové síto a výsypnou nádobu z hliníkového plechu. Poté se sklopí do polohy 15 – 20 ° pod vodorovnou osu a otáčením se melivo během několika minut vyprázdní.

Mlecí buben lze využít i jako granulační zařízení. V tom případě se po umletí hmoty buben sklopí do plnicí polohy, sejme se víko a přidá se aglomerační přísada. U korundových hmot je k tomuto účelu využívána parafínová disperze nebo roztok PVA. Po důkladné několikahodinové homogenizaci, která se provádí ve vodorovné poloze, dojde ke sklopení bubnu do plnicí polohy. Víko je nahrazeno silikonovým sítem s otvory 0,3 - 0,5 mm. Následně se buben sklopí do výsypné polohy a pomocí mlecích koulí dochází k protlačování granulátu. Výsledkem této technologie výroby granulátu jsou plné granule. [2, 12]

Vibrační mlýny – mlecí tělíska jsou v tomto případě uváděna do pohybu pomocí vibrací mlecí nádoby. Mlecího účinku je zde dosahováno jak třením, tak i nárazy mlecích těles a meliva. Mlecí tělíska jsou obdobná jako u gravitačních mlýnů.

Mlecí nádoba má tvar bubnu, trubky, žlabu nebo žlabového prstence. Je uložena na dvou řadách pružin nebo pryžových blocích. Osou bubnu prochází trubka, v níž se otáčí nevyvážená hřídel, která vyvolává vibrační pohyb. Plnění mlýnu se provádí horním otvorem a vyprazdňování spodním uzavíratelným otvorem. [2, 12]



Obr. 2.9: Vibrační mlýn [2]

2.4.1.2 Ostatní typy mlýnů

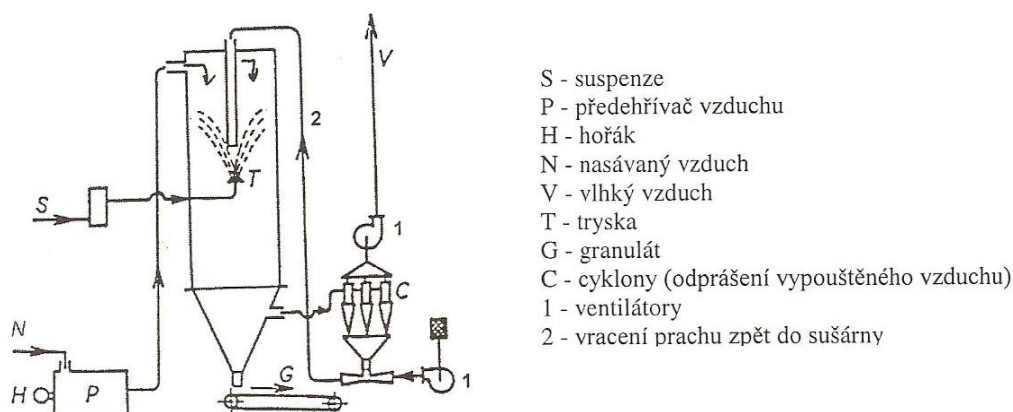
Mimo nejvyužívanějších gravitačních mlýnů se v keramických provozech vyskytují i další méně významné typy mlýnů. Jedná se např. o válcové mlýny, běhounové mlýny, kladivové mlýny či kolíkové mlýny. Jsou využívány převážně k mletí jílovitých keramických hmot. [2, 12]

2.4.2 Rozprašovací sušárny

Rozprašovací (rozprachové) sušárny jsou založeny na rychlém odvodnění jemně rozprašovaných kapek suspenze v proudu teplého sušícího vzduchu. K rozprašování dochází buď pomocí trysek, nebo rychle rotujícím kotoučem (odstředivé rozprašování). Jedná se sice o investičně nákladné zařízení, které je však vysoce produktivní.

Princip rozprašovací sušárny je zřejmý z obr. 2.10. Keramická suspenze je vstřikována pomocí trysky do věže válcovitého tvaru, která se ve spodní části kónicky zužuje. Čerpání suspenze do sušárny se provádí membránovými čerpadly. Vháněný sušící vzduch je předehříván (obvykle zemním plynem) na teploty 500 – 800 °C a může být vháněn jak v souproudu, tak i v protiproudu s rozprašovací suspenzí. Aby vzduch odcházející ze sušárny nebyl znečištěn prachem, vede se přes

soustavu cyklonů a přes textilní filtr. Zachycené prachové částice se vrací zpět a jsou přimíchávány do suspenze. [2, 12]



Obr. 2.10: Schéma rozprašovací sušárny [2]

Z keramické suspenze se odpaří voda a do kónické spodní části dopadají duté kuličky granulátu. Ten má běžně vlhkost do 5 % podle potřeby dané technologie. Regulace vlhkosti je možná až do 0 % a je dána dobou sušení a teplotou vzduchu.

Tryskové rozprašovací sušárny pracují při tlaku v tryskách $p = 1 - 2$ MPa. Velikost granulátu je závislá na velikosti trysky. Dutý granulát má obvykle střední průměr zrna $d_{stř} = 0,3 - 0,4$ mm. Konstrukcí sušárny je omezena pouze maximální velikost granulátu (cca 1 mm), spodní hranice jemnosti prakticky omezena není.

Kotoučové rozprašovací sušárny jsou vhodné pro velkokapacitní provozy. Velikost granulátu je dána obvodovou rychlostí rozprašovacího kotouče. Ten se běžně pohybuje okolo 90 m.s^{-1} . Střední velikost zrn granulátu dosahuje $d_{stř} = 0,15$ mm. [1]

2.5 Lisování keramiky

2.5.1 Suché lisování

Suché lisování je lisování keramických granulátů s nízkým nebo nulovým obsahem vlhkosti ($w = 1 - 10$ %) v pístově uzavřených kovových nebo speciálních tvrdokovových formách. Využívá se k tvarování výrobků, u nichž je vyžadována značná rozměrová přesnost. Jedná se o technologii vhodnou k automatizaci a

výrobu velkých sérií. Lisuje se především lisy hydraulickými, nebo mechanickými (kloubové, vřetenové, vačkové a klikové).

Rozeznáváme dvojí způsob suchého lisování:

- ***stálým maximálním tlakem***
- ***na stálou výšku výlisku***

Stálým maximálním tlakem se lisuje na lisech hydraulických, u kterých je možné požadovaný tlak nastavit ventilem. Výhodou takového lisování je rovnoměrná hutnost výlisků i při určitém kolísání množství lisované hmoty. Naopak nevýhodou je proměnná výška výlisků.

Na stálou výšku se lisuje obvykle na mechanických lisech s konstantním zdvihem. Horní lisovník se zasunuje do nástroje stále stejně hluboko. Výška výlisku je v tomto případě konstantní, ale hustota kolísá, pokud není množství lisované hmoty konstantní. [1, 5, 9]

Smrštění výrobků při výpalu závisí na hustotě. K dosažení přesných rozměrů po výpalu je tedy nutno dodržet konstantní výšku i hustotu výrobku. Proto by mělo být množství granulátu v dutině formy co nejpřesněji dávkováno. Dávkování lze provádět v zásadě dvojím způsobem:

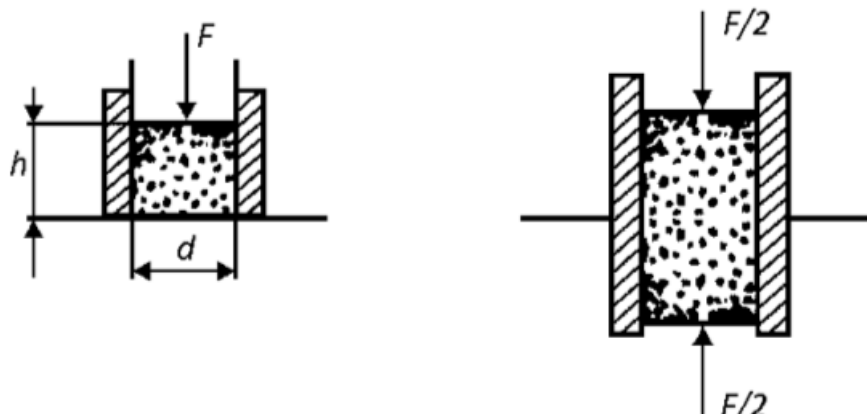
- ***dávkování vážením***
- ***dávkování odměřováním***

Dávkování vážením se využívá v praxi méně často, hlavně kvůli zdlouhavosti. Pokud se využívá, tak hlavně pro větší a poměrně vysoké výrobky v sériových výrobcích.

Častějším způsobem je dávkování odměřováním. Jako nádoba pro odměření slouží obvykle přímo dutina formy. Tento způsob je využíván hlavně pro hromadnou výrobu malých a středně velkých součástí. [1, 5, 9]

V zásadě můžeme suché pístové lisování rozdělit podle směru působící síly na lisování jednostranné, při němž lisovací síla působí proti pevné podložce a

lisování oboustranné, kdy lisovací síla působí na keramický granulát z obou stran.
[1,5,9]



Obr. 2.11: Schematické znázornění působení sil při suchém pístovém lisování

Po nasypání keramického granulátu do dutiny formy je kontakt mezi jednotlivými částicemi nedokonalý a představuje hodnotu menší než 10^{-6} z celkového povrchu. Sypné těleso je vyplněno póry, přičemž největší porezity se dosahuje tehdy, jsou – li částice stejné velikosti. Při různé velikosti naopak menší částice zaplní místa mezi částicemi většími, čímž se pórovitost sníží. [1,5,9]

Sypné těleso tvoří jakýsi přechod mezi pevným tělesem a kapalinou. Od kapaliny se však liší tím, že práškový materiál nezatéká do formy tak lehce jako kapalina a není možné jej lisovat do libovolných tvarů. [7]

Působením lisovací síly se začne keramický granulát zhutňovat. Během tohoto procesu dochází jednak k uspořádávání částic, při vyšším tlaku pak také k jejich deformaci nebo lomu. Výlisek zaujímá obvykle 30 – 50 % sypné výšky. V praxi se často zavádí pojem konstanta plnění k .

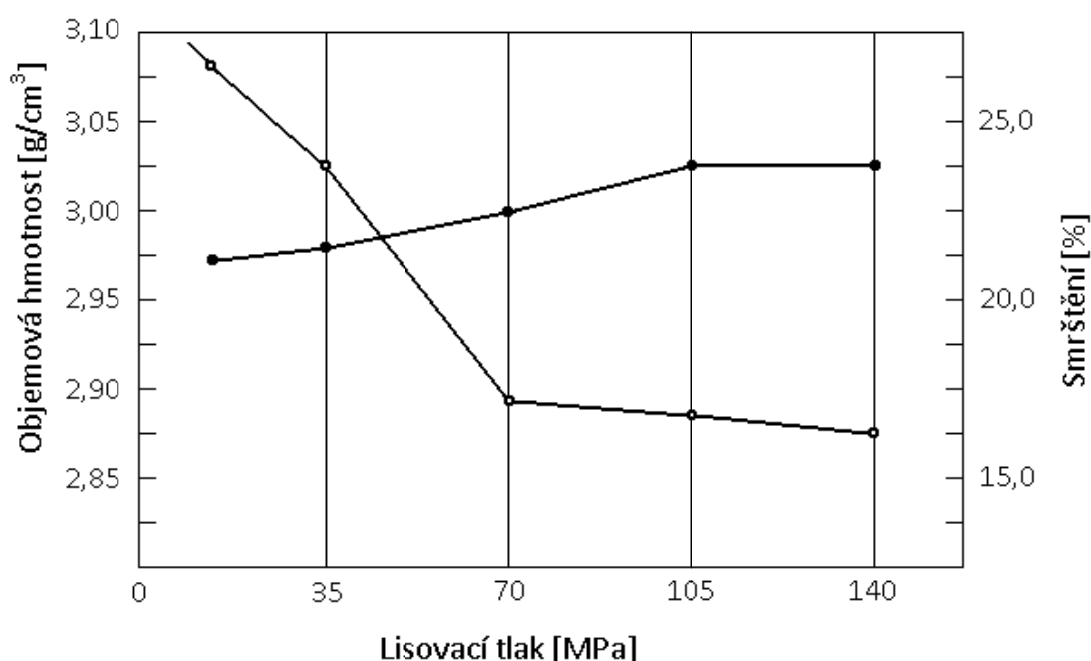
$$k = \frac{h'}{h} \quad (2.17)$$

kde je:

h' ... výška volně nasypaného granulátu (násypná výška) [mm]

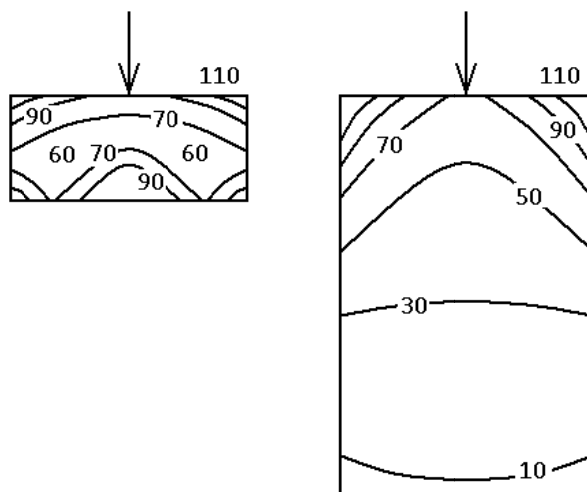
h ... konečná výška výlisku [mm]

Snahou lisování je dosažení co nejvyšší objemové hmotnosti vylisku, neboť tím klesá následné smrštění během procesu slinování. Na obr. 2.12 je vidět závislost smrštění a objemové hmotnosti výrobků na lisovacím tlaku. Z obrázku je zřejmé, že do určité hranice lisovacího tlaku smrštění během procesu slinování silně klesá. Až do této hranice tlaku dochází k zhutňování přeskupováním částic, nad ním však již toto možné není. Mírný vzrůst objemové hmotnosti je způsoben plastickou deformací nebo lomem částic. Díky tomu se zvětšuje kontakt mezi jednotlivými částicemi, takže slinování probíhá snadněji a objemová hmotnost vypáleného výrobku nadále mírně vzrůstá. [5]



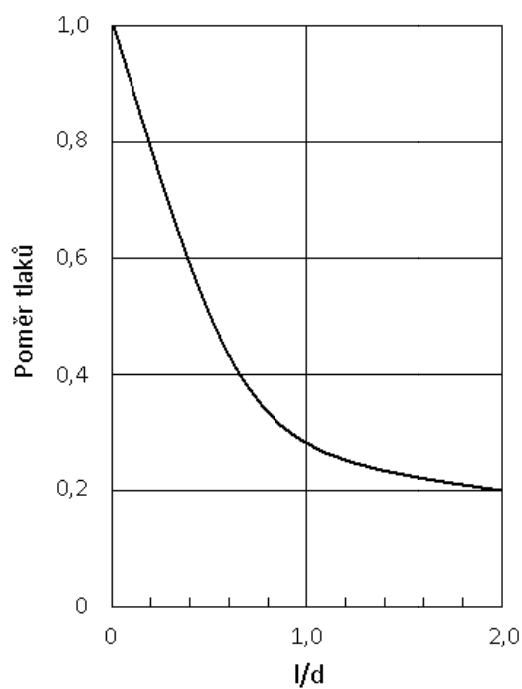
Obr. 2.12: Vliv lisovacího tlaku na objemovou hmotnost a smrštění BeO [5]

Lisovací tlak se ve vylisku nerozloží zcela rovnoměrně. Příčinou je nerovnoměrné šíření tlaku všemi směry. Důvodem je tření mezi keramickým granulátem a stěnou formy a mezi jednotlivými keramickými částicemi. Tímto vznikají tlakové ztráty, díky čemuž dochází k poklesu tlaku směrem od čela působícího lisovníku.



Obr. 2.13: Linie rozložení konstantního tlaku při lisování kovového prášku v % [5]

Na obr. 2.13 je vidět, jak lisovací tlak klesá se vzdáleností od lisovací síly. Je tedy zřejmé, že takovýto způsob lisování je vhodný pro výrobky, u nichž je poměr výšky výlisku l k průměru výlisku d malý, obvykle menší než 1 ($l/d < 1$). Pro keramické výrobky tyčovitěho tvaru s velkým poměrem l/d se využívá izostatického lisování, nebo tzv. dusání, kdy je do formy materiál dusán po jednotlivých vrstvách. [1, 5, 9]



Obr. 2.14 : Poměr tlaků na podložce a razníku v závislosti na poměru výšky l k průměru d výlisku [5]

A tlaková rozložení lze za předpokladu rovnoměrně rozloženého axiálního tlaku popsat matematicky pomocí rovnic (2.18) a (2.19). [7]

$$p_r = \beta \cdot p \quad (2.18)$$

$$p_h = p^{-2 \cdot \beta \cdot \mu \cdot h \cdot R} \quad (2.19)$$

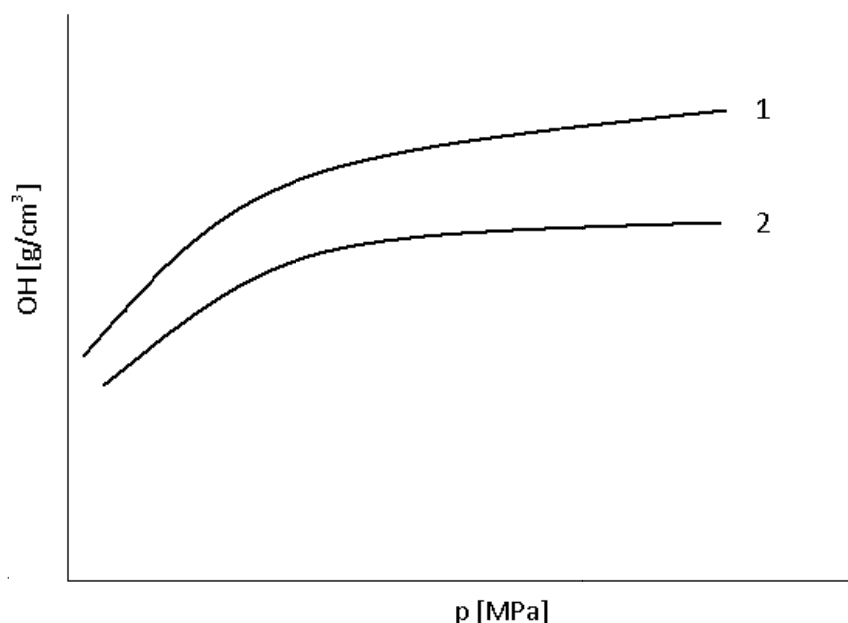
kde je:

- p... působící axiální tlak [MPa]
- p_r ... radiální tlak na stěnu formy [MPa]
- p_h ... axiální tlak v hloubce h [MPa]
- β ... koeficient [-]
- μ ... tření mezi částicemi [-]
- h ... hloubka [mm]
- R ... poloměr výlisku [mm]

Je třeba si uvědomit, že uvedené vztahy jsou pouze teoretické a určení koeficientů β a μ je nesnadné. Koeficient tření nemůže být konstantní, neboť se vzrůstající hustotou výlisku se zvětšuje kontaktní plocha mezi částicemi a stěnou zápustky. Koeficient úměrnosti mezi radiálním a axiálním tlakem β roste se zvětšujícím se axiálním tlakem. [7]

Ke zlepšení tlakových závislostí dochází v případě lisování oboustranného. Při něm na dno formy působí stejný tlak jako na vrchní razník. Lisování může probíhat buď simultánně, nebo střídavě. Tlakové rozdíly nebudou tak velké jako při jednostranném lisování. I zde však bude při větší výšce výlisk nejhutnější na obou koncích, zatímco uprostřed bude hustota nižší.

Kromě uvedených zákonitostí je objemová hmotnost dosažená při lisování závislá na celé řadě dalších faktorů. Jedná se především o tvar, tvrdost a pevnost keramických částic, ale také o rychlost lisování (obr. 2.15). Z tohoto důvodu by při lisování měla být dodržena konstantní lisovací rychlost. [1, 7]



Obr. 2.15: Vliv lisovacího tlaku na objemovou hmotnost vylisku z lisovacích směsí rozdílného charakteru při rozdílné rychlosti zalisování [1]

1 – směs s pevnými a měkkými částicemi při nízké rychlosti zalisování, 2- směs s pevnými a tvrdými částicemi při vysoké rychlosti zalisování

S rychlostí lisování souvisí i další problém, který nastává při lisování a tím je vytěsnění části vzduchu, který je uzavřen v pórech volně nasýpaného prášku. Čím rychleji je tlak aplikován a čím je keramická směs jemnější, tím nesnadněji vzduch uniká. Část vzduchu poté může zůstat ve vzorku komprimována. Při následném uvolnění výrobku a rychlém poklesu tlaku se vylisek poruší vznikem trhlin, které jsou kolmé ke směru lisování. Tato vrstevnatost se při výpalu nezacelí, naopak se ještě zvýrazní, takže se výrobek zcela znehodnotí. Jako ochrany před tímto jevem se využívá lisování nadvakrát, tj. předlisování, následné uvolnění tlaku (tzv. odvzdušnění) a dolisování. [1, 7]

2.5.2 Další způsoby lisování

2.5.2.1 Přetokové lisování

Přetokovým lisováním se označuje lisování vlhkých hmot ($w = 15 - 21 \%$). Ty nemusejí být přesně dávkované, neboť se lisovací forma plní přebytkem hmoty. Při pohybu lisovníku směrem k formě nejprve hmota volně odchází do stran, postupně

se však zvyšuje odpor proti jejímu unikání. Lisování je ukončeno dosednutím lisovníku na lisovací formu.

Lisovací tlak se zvyšuje nejprve pomalu, se zvyšujícím se odporem proti unikání hmoty však narůstá a dosáhne maxima těsně před uzavřením formy. Jakmile tlak překročí mez toku lisovací směsi, začne se chovat jako nestlačitelná nenewtonská kapalina. V ní se tlak šíří všemi směry a vyplní i složité tvary formy. Podle obsahu vlhkosti se u tohoto typu lisování dosahuje tlaků 5 – 8 MPa.

Lisovací směs neobsahuje pouze vodu, ale i olej. Obvykle se obě dvě složky přidávají ve formě emulze. Oleje ovlivňují adhezi hmoty ke kovovému nástroji, zabraňují slepování částic a uzavření vzduchu. Mimo to snižují tření částic mezi sebou a napomáhají jejich skluzu. Oleje jsou tvořeny směsí uhlovodíků s přídavkem mazadla. Směs uhlovodíků přitom odpovídá petroleji a mazadlem je kyselina olejová.

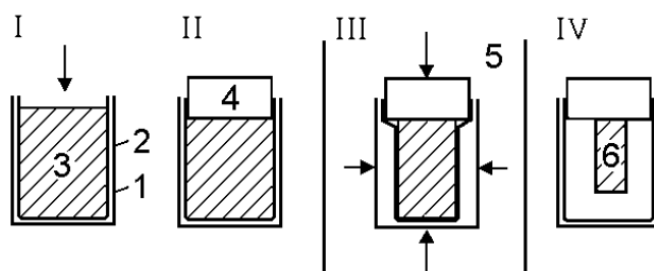
Přetokové lisování je využíváno především pro relativně malá keramická tělesa složitých tvarů s nižšími nároky na mechanické vlastnosti než při lisování pístovém. Hlavní výhodou tohoto způsobu lisování jsou nízké náklady na konstrukci lisovacích forem a nástrojů. [1, 12]

2.5.2.2 Izostatické lisování (CIP)

Izostatické lisování je lisování všestranným tlakem. Využívá se při něm granulované směsi s nízkou vlhkostí a vysokých lisovacích tlaků ($p = 100 - 400$ MPa). Tím se odstraňují nehomogenity v objemové hmotnosti v lisovaném materiálu.

V zásadě existují dva typy izostatického lisování a to lisování do mokré formy a lisování do suché formy.

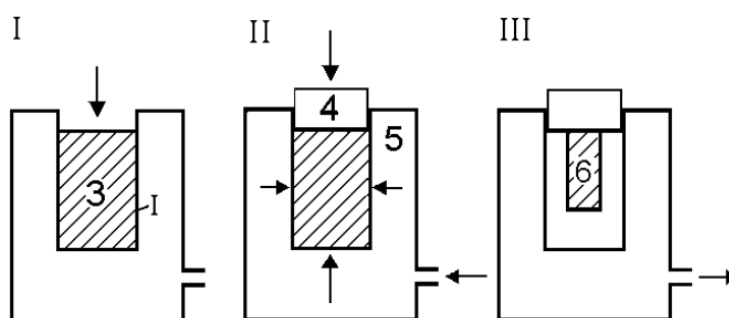
Při mokré lisování se lisovaná směs v pružném vaku vkládá společně s manžetou volně do kapaliny v tlakové nádobě. Tento způsob je využíván především pro vylisky jednoduchých tvarů s velkým poměrem h/d . [1, 12]



Obr. 2.16: Izostatické lisování v mokré formě [1]

1 - elastický vak, 2 – kovová děrovaná manžeta, 3 – lisovací směs, 4 – zátka, 5 – nádoba s kapalinou, 6 – vylisek, I – plnění vaku směsí, II – uzavření vaku se směsí před uzavřením formy, III – zalisování, IV – vylisovaný výrobek

Při lisování do suché formy je pružná lisovací nádoba pevně spojena s tlakovou nádobou. To umožňuje lisování menších vylisků složitějších tvarů. [1, 12]

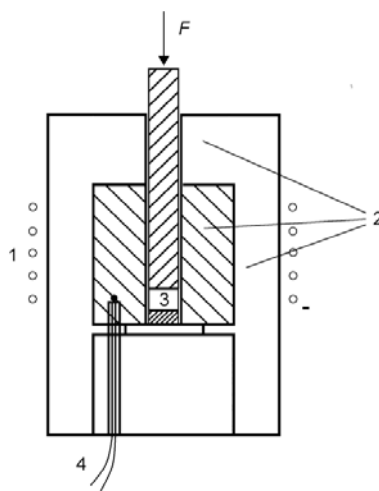


Obr. 2.17: Izostatické lisování v suché formě [1]

1 - elastický vak, 3 – lisovací směs, 4 – zátka, 5 – nádoba s kapalinou, 6 – vylisek, I – plnění vaku směsí, II – lisování, III – vylisovaný výrobek

2.5.2.3 Žárové lisování

Při tomto způsobu lisování se lisuje vysokým tlakem v grafitových formách při teplotách 1200 – 2000 °C v ochranné atmosféře inertního plynu. Využívá se poznatku, že při zvyšování teploty dochází ke zvýšení pevnosti v tahu R_t grafitu. Ta dosahuje při pokojové teplotě pouze 28 MPa, při teplotě 2500°C se zvyšuje až na hodnot 490 MPa.



Obr. 2.18: Schéma zařízení na žárové lisování [1]

1 – elektrická pec, 2 – grafitová forma, píst a podložkou, 3 – vylisek, 4 – termočlánek, F – lisovací síla

Jedná se o nákladnou technologii s nízkou produktivitou, která však umožňuje dosažení objemové hmotnosti výrobku blízké teoretické hustotě, a to jak u oxidických, tak neoxidických hmot. [1, 12]

2.5.2.4 Izostatické žárové lisování (HIP)

Při tomto lisování je nejprve vylisován výrobek požadovaného tvaru pístovým nebo izostatickým způsobem. Následně je vylisek uzavřen do pouzdra, které nepropouští inertní lisovací plyn. Takto zapouzdražené vylisky se vloží do tlakové nádoby s lisovacím plynem a vypalují se na požadovanou teplotu. Zahřátý plyn vyvíjí na vylisky potřebný všestranný lisovací tlak. Objemová hmotnost těchto vylisků je blízká teoretické hustotě. [1, 12]

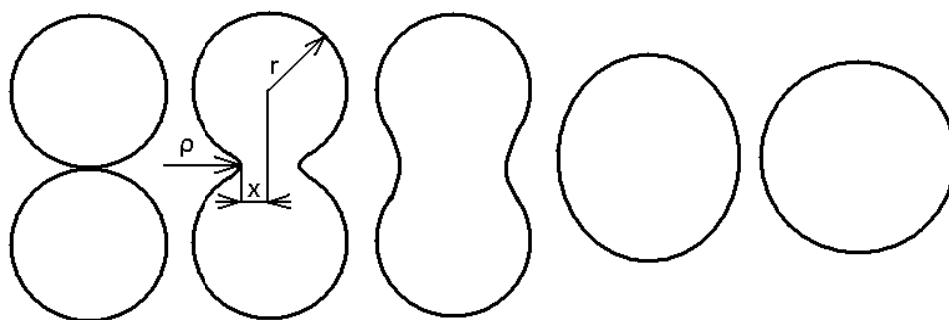
2.6 Slinování

Slinováním nebo také sintrováním či spékáním se označuje proces, kterým se samovolně zpevňují disperzní látky za zvýšené teploty. Obvykle je tento proces doprovázen objemovou kontrakcí a zhutňováním. Vzniká polykrystalická hmota, v níž jsou původní částice navzájem pevně spojeny.

Jedná se o nákladný proces, který se podílí 30 – 50 % na celkové ceně výrobku. V energetické bilanci keramických výrobků představuje cca 60 % spotřeby energie. Provádí se obvykle při homologických teplotách 0,65 až 0,9. [1, 5]

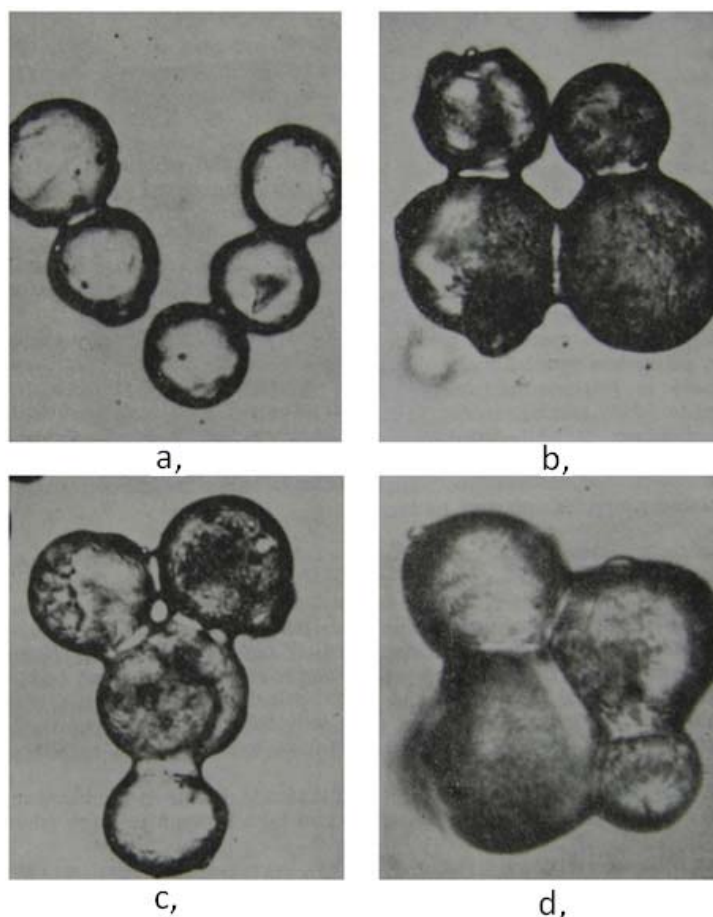
2.6.1 Mechanismus procesu

Hnací silou slinování je snaha systému zmenšit měrný povrch. Celý proces lze přirovnat k splývání kapek vody účinkem povrchového napětí. Při něm se nejprve vytvoří spojovací krček, který se postupně rozšiřuje, až obě kapky utvoří kapku jedinou.



Obr. 2.19: Schéma slinování dvou sférických částic [7]

Na obr. 2.19 je vidět průběh slinování u reálných částic Al_2O_3 , jehož teplota tání je 2054 °C. Mezi částicemi, jež jsou původně v bodovém styku (a), se tvoří rozšířený pevný srůst. Později se tím uzavře mezi částicemi kulový pór (b, c), který se stahuje a zmenšuje až do chvíle, kdy se tlak uzavřeného plynu vyrovná síle povrchového napětí, která plyn stahuje. Další stahování póru je výrazně pomalejší a je úměrné rychlosti odvádění plynu z póru difuzí. V konečném stádiu (d) dochází k růstu zrn. Tento proces je obvykle nežádoucí, neboť se zvětšující se velikostí částic klesají výsledné mechanické vlastnosti. K těmto jevům dochází zejména tehdy, pokud je teplota slinování příliš vysoká. [1, 5, 7]



Obr. 2.20: Postup slinování kulových částic Al_2O_3 (1750 – 1840 °C, zvětšení 1500 x) [5]

Slinovací proces má úzkou souvislost s přítomností zakřivených povrchů. Následkem povrchového napětí je v kapce kapaliny přetlak daný vztahem (2.20) a pro vydutou plochu krčku vztahem (2.21). [1, 5, 7]

$$p = \frac{2\gamma}{r} \quad (2.20)$$

$$p = \frac{\gamma}{x \cdot \rho} \quad (2.21)$$

kde je:

γ ... povrchové napětí [N/m]

r ... poloměr kapky [mm]

ρ ... poloměr zakřivení [mm]

Z uvedených rovnic vyplývá, že na povrchu koule působí kladné tlakové napětí a na poloměru krčku záporné tahové napětí. Tento rozdíl tlaků působí jako hnací síla pro zvětšení styčné plochy. Takový mechanismus nazýváme makroskopický tok materiálu. Je účinný hlavně při přítomnosti většího množství taveniny vedle pevné fáze. V krystalických materiálech je pravděpodobnější difuzní transport hmoty, vyvolaný spády koncentrace vakancí. [1, 5, 7]

Koncentrace vakancí je rovněž závislá na zakřivení povrchu. Zvýšení koncentrace vakancí Δc bezprostředně pod konkávním povrchem o poloměru r udává Kelvinova rovnice:

$$\Delta c = \frac{c_0 \cdot \gamma \cdot a^3}{r \cdot k \cdot T} \quad (2.22)$$

kde je:

c_0 ... koncentrace vakancí u rovinného povrchu

a^3 ... objem vakance [m^3]

k ... Boltzmannova konstanta $1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/ K]

T ... termodynamická teplota [K]

V oblasti pod tahovým napětím je přebytek vakancí, takováto místa slouží jako jejich zdroje a oblasti pod tlakovým napětím jako jejich anihilátory. Vakance mezi těmito místy difundují. Jejich difuze je ekvivalentní protisměrné difuzi atomů. Hmota tedy difunduje do spojovacího místa. Vakance zanikají na dislokacích nebo na nejbližších rozhraních a površích.

Z předchozích úvah je tedy jasné, že existují dva základní typy transportu hmoty. Kromě nich existují další dva (c , a d), které jsou pro keramiky méně významné. Zajišťují pouze zpevnění (vznik krčků), nikoliv však zhutnění. [1, 5, 7]

a, Makroskopický tok - vyvolaný napětím v okolí zakřivených rozhraní.

b, Objemový difuzní tok - vyvolaný rozdíly koncentrací a vakancí.

c, Vypařování a kondenzace - uplatňuje se u látek s dostatečnou tenzí par. Ta je závislá opět na křivosti povrchu, vyšší je nad povrchem vypouklým. Páry z těchto povrchů přechází do konkávních styčných míst, kde nastává jejich

kondenzace. V tomto případě se středy částic nepřibližují, ale mění se tvar částic, např. z kulovitého na oválný. Objem pórů se však nemění.

d, Povrchový difuzní tok – průběh je podobný jako v předchozím případě. [1, 5, 7]

2.6.2 Kinetika slinování

Kinetiku slinování je možné rozdělit do čtyř stádií, ale je nutné si uvědomit, že popis v jednotlivých stádiích vychází z idealizovaných podmínek a předpokladů. Jedná se především o kulovité částice stejných velikostí. Uvedené předpoklady a výsledky se tedy mohou od reálných systémů výrazně lišit. [1, 5]

Nulté stádium představuje slisování, kompaktaci, práškové soustavy za pokojové teploty. Bodový kontakt kulovitých zrn se změní vlivem Van der Waalsových sil. Dojde k elastické deformaci částic za vzniku elementárního krčku. Poměr poloměru krčku x k poloměru zrna r lze vyjádřit jako:

$$x / r \approx (\gamma_s / 10 \cdot r \cdot G)^{1/3} \quad (2.23)$$

kde je:

γ_s ... plošná hustota Gibbsovy energie povrchu

G ... modul pružnosti slinované látky [MPa] [1, 5]

Počáteční stádium zahrnuje období, kdy můstky mezi jednotlivými zrny dosahují přibližně 20 % plochy průřezu zrn. Pro toto stádium je typické, že nedochází ke změně velikosti ani struktury zrn a nemění se ani počet pórů. Poloměr krčku v tomto stádiu je určen vztahem (2.26).

$$x^n = k_1 \cdot \left(\frac{\gamma \cdot a^3 \cdot D_s}{k \cdot T} \right) \cdot r^m \cdot t \quad (2.24)$$

kde je:

k_1 ... konstanta závislá na mechanismu slinování [-]

γ ... povrchová energie slinované látky [N/m]

a^3 ... objem vakance [m^3]

D_s ... koeficient samodifuze slinované látky [m^2/s]

k ... Boltzmannova konstanta $1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/ K]

n,m ... konstanty závislé na mechanismu slinování [-] [1, 5]

Z uvedeného vztahu (2.24) lze odvodit vztah pro izotermní lineární smrštění slinovaného tělesa (2.25).

$$(\Delta L / L)^q = k_2 \cdot \left(\frac{\gamma \cdot a^3 \cdot D_s}{k \cdot T} \right) \cdot r^s \cdot t \quad (2.25)$$

kde je:

L ... délka slinovaného tělesa [mm]

ΔL ... změna délky slinovaného tělesa [mm]

k_2, q, s ... konstanty závislé na mechanismu slinování [-] [1, 5]

Tab. 2.4: Hodnoty exponentů a konstant v rovnicích (2.24) a (2.25) [1]

Mechanismus slinování	Exponenty a konstanty					
	n	m	q	s	k_1	k_2
objemová difuze	4	1	2	-3	32	2
Povrchová difuze	6	2	3	-4	96	3

Střední stadium slinování je význačné dosažením asi 6 % lineárního smrštění slinovaného tělesa. Pórovitost se v tomto stádiu snižuje z 20 % otevřené pórovitosti na cca 8 %. Během tohoto stadia nejenom klesá počet pórů, ale vznikají kanálkovité póry a začínají růst zrna. Pokles pórovitosti během tohoto stadia lze vyjádřit vztahem (2.28). Plochy krčků se přibližně rovnají ploše průřezu zrn. [1, 5]

$$P_0 - P = k \cdot \ln(t / t_0) \quad (2.26)$$

kde je:

P_0 ... počáteční pórovitost v čase t_0

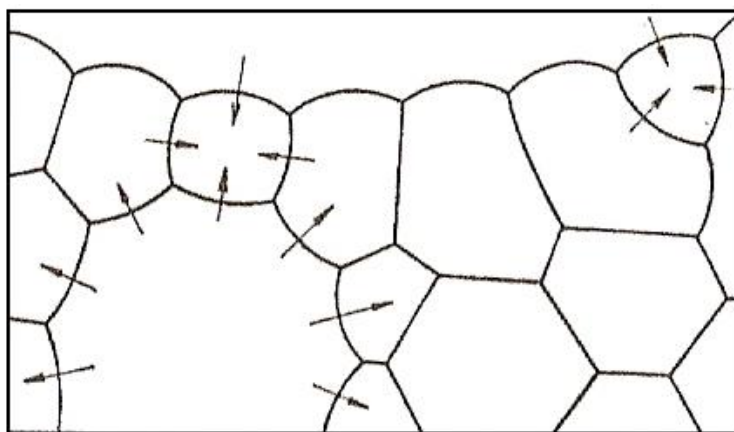
P ... pórovitost v čase t

k ... konstanta zahrnující veličiny jako povrchová energie, difuzní koeficient, rychlostní konstanta růstu zrn a objem atomu [1, 5]

Konečné stadium je charakteristické přerušováním kanálkovitých pórů a tvorbou kulovitých uzavřených pórů. Zároveň se zvyšuje rychlost růstu zrn. Příčinou

toho je snaha o zmenšení plochy rozhraní mezi zrna, neboť tím klesá volná energie systému.

Při růstu jednotlivých zrn hraje rozhodující roli zakřivení rozhraní. Jestliže jsou v místě styku tři zrna všechna tři rozhraní energeticky rovnocenná, pak je styčný úhel mezi zrna 120° . Tomuto úhlu odpovídají zrna s šestiúhelníkovým průřezem a přímkovým rozhraním. Zrna však mají různý počet stran a většina rozhraní tedy bude zakřivená. Zrna o počtu stran menším než šest budou mít rozhraní konkávní, s větším počtem rozhraní konvexní. Aby se zmenšil celkový povrch, budou se rozhraní pohybovat směrem ke středům křivosti, tj. zrna s malým počtem stran se budou zmenšovat až mizet, naopak zrna s velkým počtem stran se budou zvětšovat. Pohyb rozhraní se přitom uskutečňuje přeskoky atomů přes hranice zrn. [1, 5]

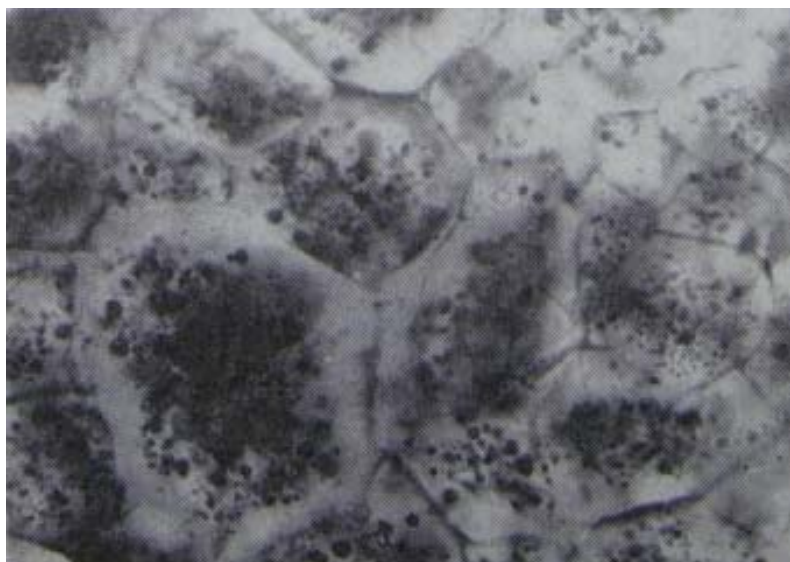


Obr. 2.21: Pohyb rozhraní a růst zrn [5]

Během tohoto stadia mohou nastat dva teoretické případy:

1, s růstem velikostí zrn dochází současně i ke zmenšování pórů až do jejich úplného vymizení. V takovémto případě se dosáhne teoretické hustoty materiálu.

2, při dosažení 92 – 98 % teoretické hustoty začnou v materiálu některá zrna růst takovou rychlostí, že dojde k uzavření pórů, které jsou na jejich hranicích, do těchto zrn. V tomto případě se nedosáhne teoretické hustoty (obr. 2.25). [1, 5]



Obr.2.22: Slinutý Al_2O_3 s póry uvnitř zrn [5]

Jak již bylo uvedeno, v konečné fázi slinování rostou některá zrna na úkor jiných. Teoreticky by při slinování měl vzniknout v konečném stádiu monokrystal. Ve skutečnosti tomu tak není a zrna rostou pouze do určité mezní hodnoty dané inkluzemi cizí fáze. Cizí částice nebo póry působí jako překážky pohybu rozhraní při růstu zrn. Pokud je takových inkluzí dostatečné množství, nemusí být zakřivené rozhraní dostatečným zdrojem energie k překonání překážky a růst zrna se zastaví. Účinnost inkluzí je větší, čím jsou menší a početnější. [1, 5]

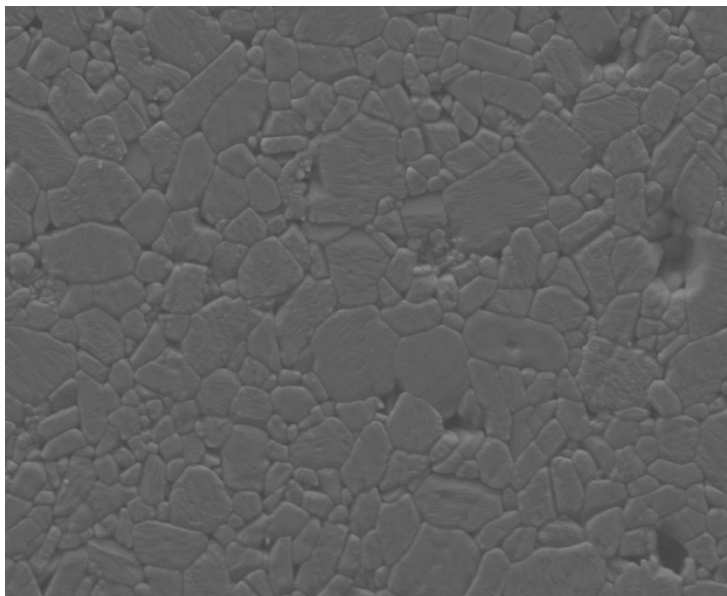
2.6.2.1 Zvláštnosti slinování Al_2O_3

Tendence k nežádoucímu růstu zrn při slinování Al_2O_3 je výrazná zejména u vysoce čistého korundu. Proto se velice často provádí opatření k potlačení tohoto jevu.

Zvláště vhodná a účinná je přísada MgO (setiny až desetiny procenta). Tato přísada zůstává soustředěna v blízkosti rozhraní mezi zrny ve formě spinelové fáze nebo pevného roztoku, čímž zabraňuje jejich zvětšování. Přítomnost MgO v blízkosti hranic se prokázala zvýšením mikrotvrdosti právě v této oblasti. MgO přitom nezpůsobuje přítomnost taveniny, neboť eutektikum systému taje při 1925 °C.

Další možností jak zabránit nadměrnému zvětšování zrn je přidání složek, jež vytváří malé množství kapalně fáze, která smáčí pevná zrna slinované látky, čímž zabraňuje přeskokům atomů přes rozhraní.

Mimo přísady je možné využít i tlakového slinování. Působením tlaku během slinovacího procesu poklesne potřebná slinovací teplota na 1100 - 1500 °C. Při těchto nízkých teplotách nehrozí nežádoucí růst zrn. [1, 5]



Obr.2.23: Slinutý Al_2O_3 – zvětšení 2500x

2.6.3 Slinování v reálných systémech

Úvahy uvedené v kapitole o slinování vychází z geometricky jednoduchých modelů. Reálné systémy se od těchto zjednodušujících podmínek výrazně liší a to především:

- nepravidelným tvarem částic a pórů
- menšími rozměry částic, obvykle polydisperzními systémy
- nestejným uložením částic, jež tím vytváří póry různých velikostí
- krystalickými částicemi – nejsou izotropní
- přítomností nečistot, jež způsobuje vznik nových fází

Je tedy jasné, že jakýkoliv popis procesu slinování je složitý a nemůže se plně shodovat s jeho reálným průběhem, a to i u poměrně jednoduchých systémů s jedinou fází. Zároveň je z uvedených úvah zřejmé, že není možné popsat kinetiku procesu pomocí jediné rovnice, ale je nutné rozeznávat jednotlivá stadia slinování. [1,5]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Úvod do experimentální části

Cílem experimentální části bylo sledování změn hustoty během procesu keramické výroby (sypná hustota¹ – zelená hustota² – hustota po výpalu³) u keramického granulátu GRANALOX NM9922F (Al_2O_3 99 %) od firmy Nabaltec (viz. příloha č. 1). Tyto závislosti byly sledovány jednak u panenského granulátu⁴ NM9922F, ale také u granulátů povlakovaných, tj. granulátů upravených pomocí přísavky lubrikantů od firmy Zschimmer & Schwarz (viz. příloha č. 2, 3 a 4).

- 1, NM9922F - panenský granulát
- 2, 8434 - granulát upravený lubrikantem KP 9112 (1 %)
- 3, 8435 - granulát upravený lubrikantem O 44 (1 %)
- 4, 8430 - granulát upravený lubrikantem O 76 (1 %)
- 5, 8426 - granulát upravený lubrikantem O 76 (0,5 %)



Obr. 3.1: Zařízení na povlakování keramického granulátu

¹ Sypná hustota *L.D.* je hmotnost objemu volně nasypaného granulátu

² Pojmem zelená hustota *G.D.* se označuje hustota (včetně pórů) výrobku po slisování keramického granulátu

³ Hustota po výpalu *F.D.* označuje hustotu (včetně pórů) výrobku po slinovacímu procesu

⁴ Panenský granulát je granulát, jenž nebyl nijak upraven, tzn. je ve formě dodané výrobcem

Zařízení na povlakování keramického granulátu pracuje na principu rozprašování lubrikantu do rotujícího bubnu¹ zaplněného 1/3 granulátu.

Stejně závislosti jako u povlakovaných granulátů byly sledovány i u tří odsítovaných frakcí panenského granulátu. K odsítování frakcí došlo na základě provedeného granulometrického rozboru (viz. kap. 3.1.1).

6, NM9922F - frakce 50 - 100 μm

7, NM9922F - frakce 50 - 125 μm

8, NM9922F - frakce 63 - 125 μm

U panenského granulátu byly dále sledovány změny hustot při změně lisovacího nástroje (poměru hloubky dutiny formy h k průměru dutiny formy d).

9, NM9922F - poměr $h/d = 0,663$

10, NM9922F - poměr $h/d = 0,405$

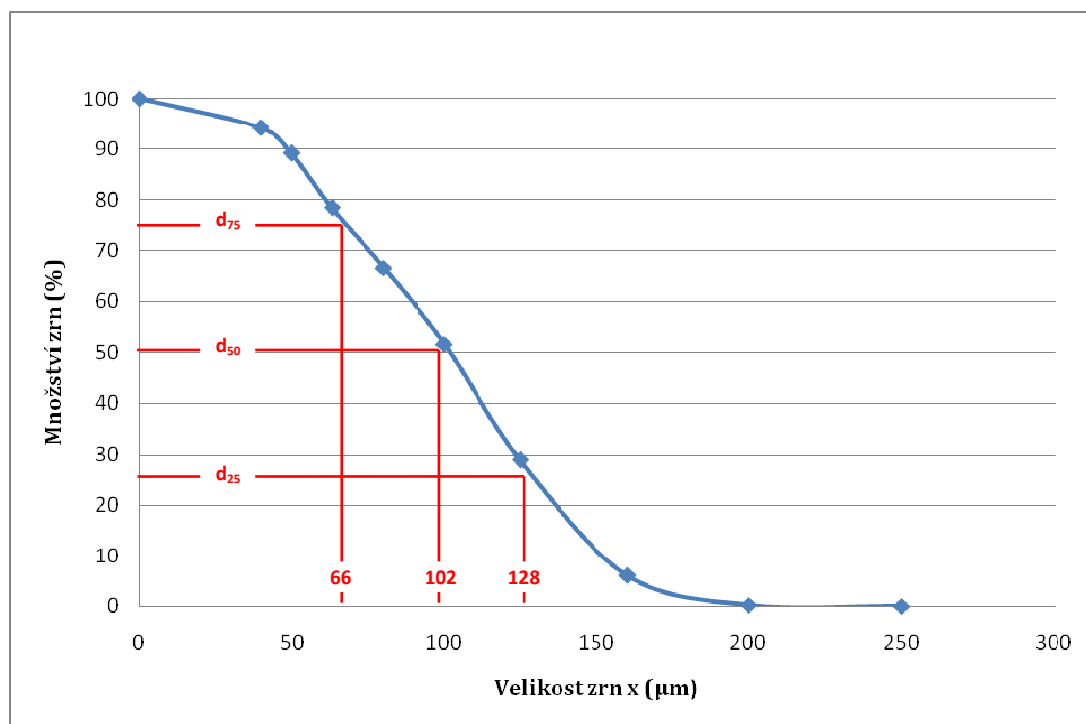
3.1.1 Granulometrický rozbor

Granulometrická zkouška byla provedena na vzorku 200 g keramického granulátu NM9922F. Ke zjištění podílu jednotlivých frakcí byla použita síťovačka Retsch AS200.

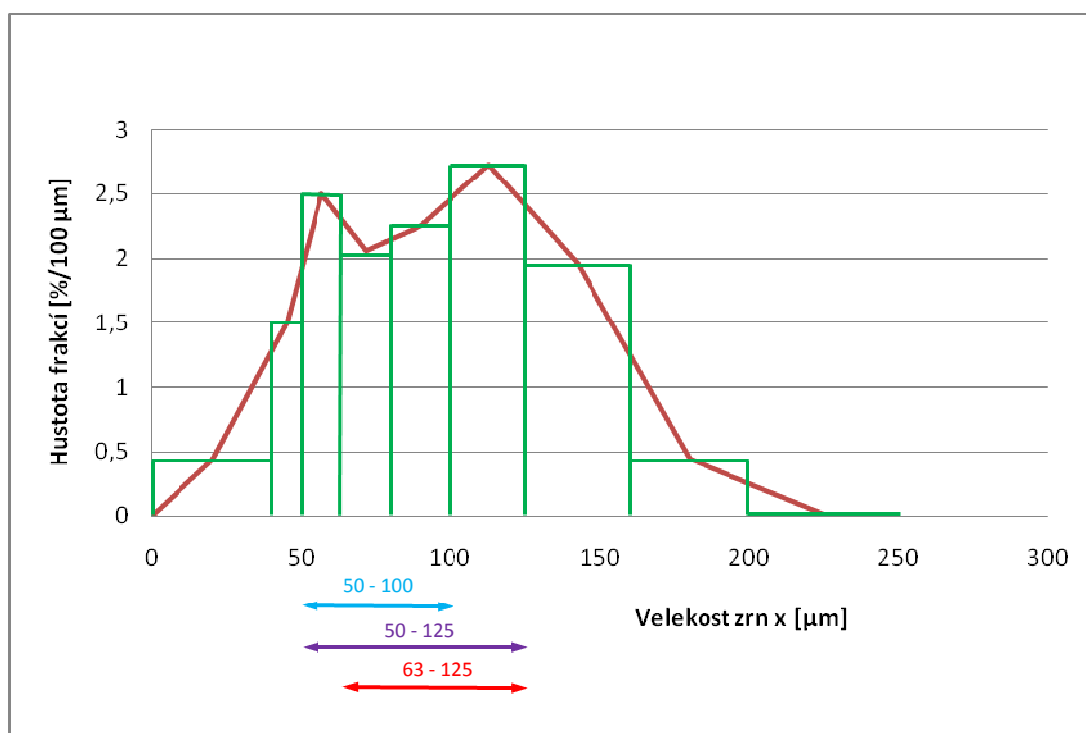
Tab. 3.1: Výsledky granulometrického rozboru

Sestava sít x [μm]	Hmotnost frakcí m [g]	Celkový podíl frakcí [%]	Rozdíl frakcí Δx [μm]	Hustota frakcí [%/100 μm]
315	0,00	0,00	---	---
250	0,00	0,00	65	0,00
200	0,55	0,18	50	0,01
160	17,44	6,00	40	0,44
125	68,62	28,87	35	1,96
100	68,28	51,63	25	2,73
80	45,11	66,67	20	2,26
63	35,10	78,37	17	2,06
50	32,50	89,20	13	2,50
40	15,10	94,23	10	1,51
0	17,30	100,00	40	0,43

¹ Rotující buben má tvar tulipánu. Proto se někdy povlakování nazývá též tulipování.



Obr. 3.2: Rozdělení velikosti zrn granulátu NM9922F



Obr. 3.3: Hustota rozdělení velikosti zrn granulátu NM9922F

Výsledkem granulometrické zkoušky byla střední velikost granulátu $d_{50} = 102 \mu\text{m}$. Mimo to byly zjištěny hodnoty $d_{25} = 128 \mu\text{m}$ a $d_{75} = 66 \mu\text{m}$. Z nich lze vypočítat tzv. stupeň stejnorodosti s .

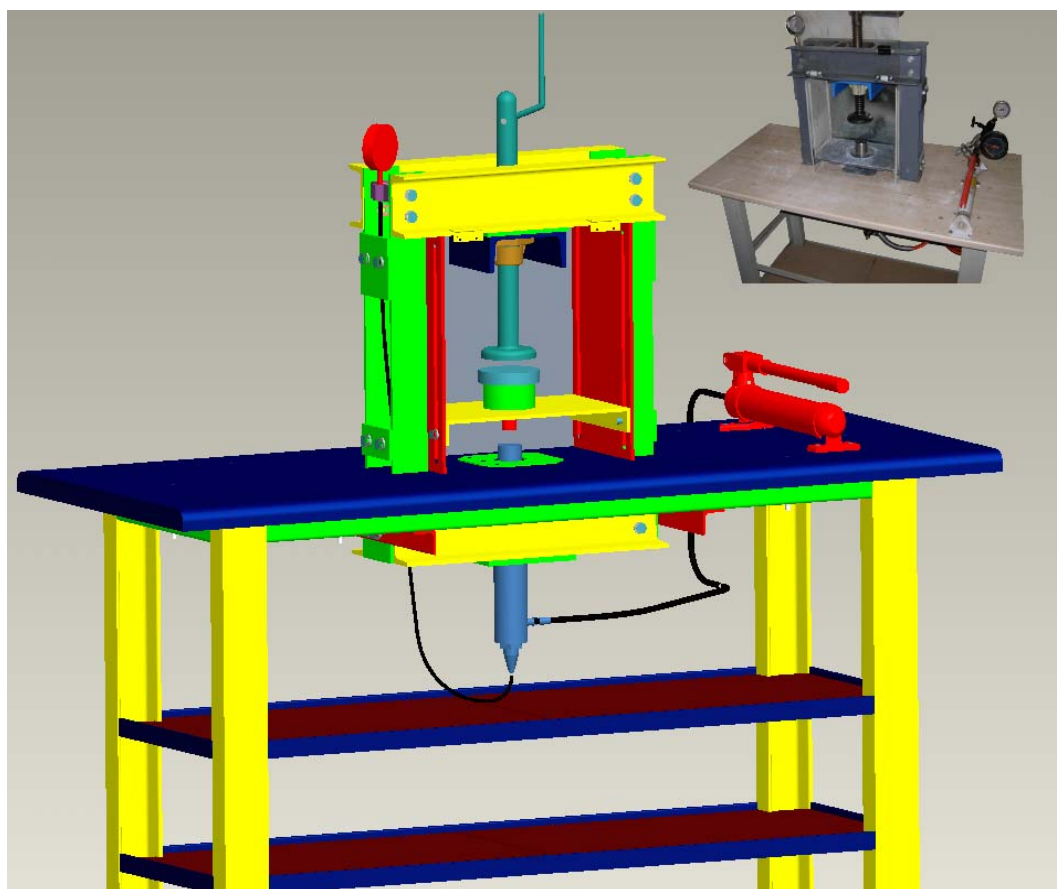
$$s = \frac{d_{75}}{d_{25}} = \frac{66}{128} = \underline{\underline{0,52}}$$

3.2 Zjištění G.D. a F.D. v závislosti na lisovacím tlaku

Cílem experimentu bylo stanovení vzájemných závislostí mezi zelenou hustotou $G.D.$, hustotou po výpalu $F.D.$, smrštěním a lisovacím tlakem.

3.2.1 Měřicí zařízení a pomůcky

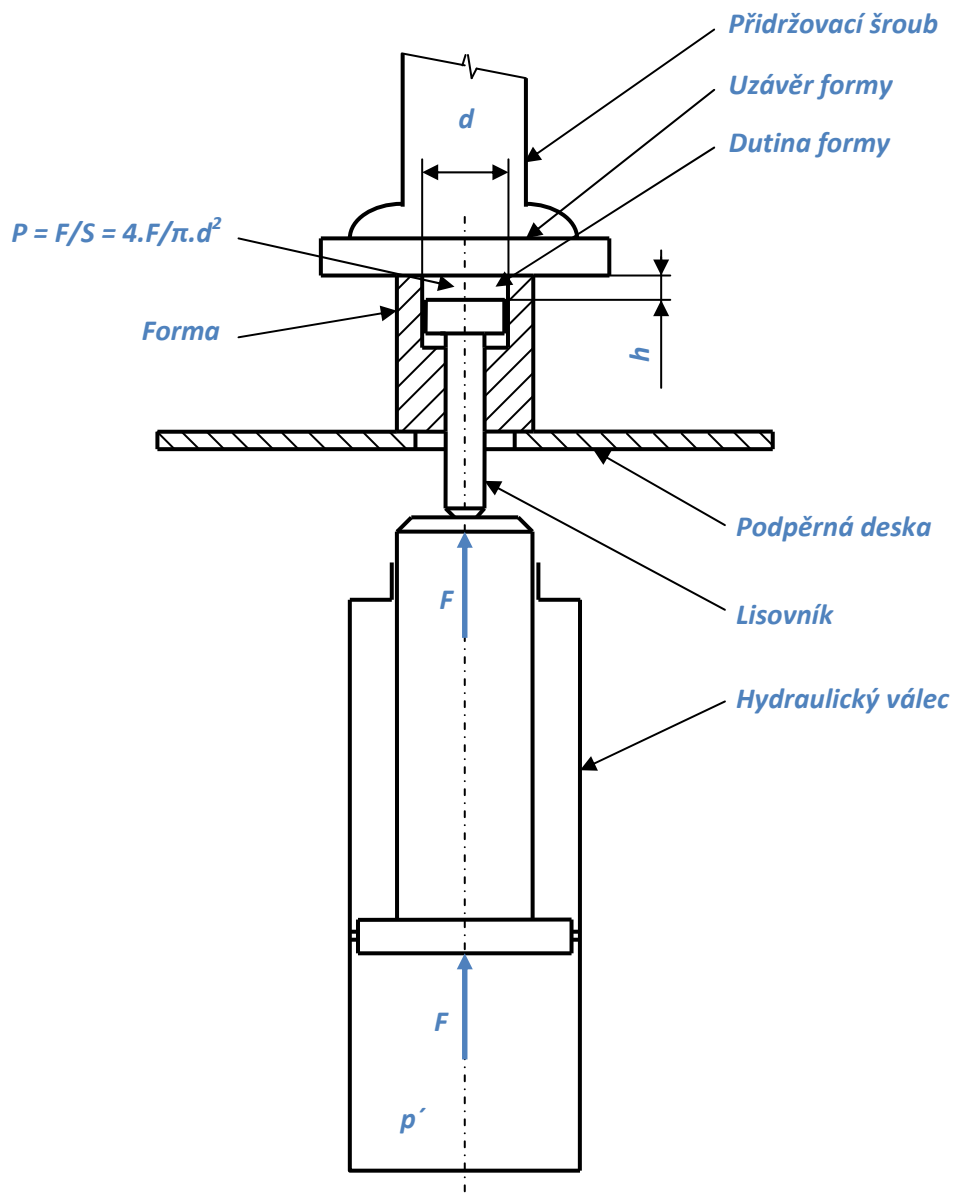
K lisování zkušebních vzorků byl využit lis z firmy SAINT GOBAIN využívaný právě k těmto účelům. Jeho výkres je uveden ve volné příloze č. 1.



Obr. 3.4: Lis z firmy SAINT GOBAIN

Schéma lisování je zřejmé z obr. 3.5. Hydraulický válec působí na lisovník, který stlačuje lisovaný keramický granulát v dutině formy. Ta je uzavřena pomocí ocelového uzávěru utaženého šroubem.

Tlak p' , který byl v hydraulickém válci vyvozen ruční hydraulickou pumpou, byl sledován pomocí manometru. Tento tlak byl následně přepočten na tlak p působící v dutině formy na keramický granulát. Přepočet tlaku je uveden v tab. 3.2.



Obr. 3.5: Schéma lisu

Tab. 3.2: Přepočtené tlaky

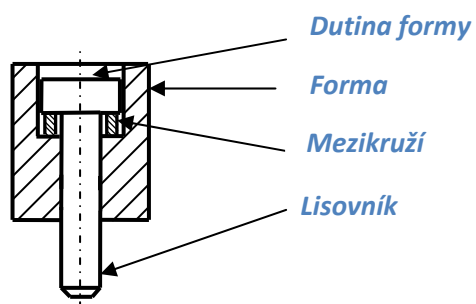
Tlak ve válci p' [bar]	Lisovací síla F [kN]	Tlak v dutině formy p [MPa]
20	3,00	26,53
40	6,00	53,05
60	9,00	79,58
80	12,00	106,11
100	15,00	132,63
120	18,00	159,16
140	21,00	185,69

Uvedený přepočet tlaků je platný pro použitou formu s dutinou o průměru $d = 12 \text{ mm}$.



Obr. 3.6: Ocelová forma

Výška dutiny formy h byla 10,6 mm. To odpovídá poměru $h/d = 0,866$. Změna poměru h/d byla provedena pomocí vyrobených mezikruží. Těmi došlo ke změně poměru h/d na hodnoty 0,658 a 0,403.



Obr. 3.7: Schéma využití mezikruží

Hustota po výpalu $F.D.$ byla měřena dle normy ČSN EN 632-2 pomocí váhy na zjištění objemové hmotnosti METTLER AG6204.



Obr. 3.8: METTLER AG204

3.2.2 Postup měření

Ke stanovení závislosti mezi zelenou hustotou $G.D.$, hustotou po výpalu $F.D.$ a lisovacím tlakem p byly nalisovány vzorky na popsaném lisu firmy SAINT GOBAIN. Od všech typů granulátů bylo nalisováno po pěti vzorcích, při stlačeních tlakem 27, 53, 80, 106, 133, 159 a 186 MPa. Poté byly vzorky vypáleny při teplotě 1575 °C po dobu jedné hodiny a následně u nich byla změřena hustota po výpalu $F.D.$

3.2.3 Naměřené hodnoty

Naměřené výsledky jsou uvedeny v tab. 3.3 – 3.5. Jejich grafické znázornění je na obr. 3.9 – 3.17. Kompletní naměřené hodnoty, včetně grafického znázornění jsou uvedeny v přílohách č. 5 – č. 14.

Tab. 3.3: Naměřené hodnoty G.D., F.D. a smrštění panenského granulátu NM9922F
a granulátů povlakovaných

		Vzorky				
		č.1 - NM9922F	č.2 - 8434	č.3 - 8435	č.4 - 8430	č.5 - 8426
p ¹ = 27 MPa	G.D. ² [g/cm ³]	2,04 ± 0,05	2,08 ± 0,02	2,07 ± 0,01	2,08 ± 0,02	2,07 ± 0,02
	F.D. ³ [g/cm ³]	3,713 ± 0,006	3,723 ± 0,008	3,715 ± 0,012	3,732 ± 0,005	3,696 ± 0,012
	Δd/d ⁴ [%]	18,52 ± 0,07	18,01 ± 0,08	18,04 ± 0,12	18,07 ± 0,09	18,00 ± 0,12
	Δh/h ⁵ [%]	18,40 ± 0,17	17,90 ± 0,13	17,88 ± 0,23	17,83 ± 0,17	17,84 ± 0,16
	ΔV/V ⁶ [%]	45,81 ± 0,14	44,81 ± 0,16	44,83 ± 0,11	44,83 ± 0,19	44,76 ± 0,22
p = 53 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,15 ± 0,03	2,19 ± 0,01	2,19 ± 0,01	2,20 ± 0,02	2,18 ± 0,01
	F.D. [g/cm ³]	3,777 ± 0,008	3,785 ± 0,005	3,786 ± 0,010	3,803 ± 0,003	3,769 ± 0,003
	Δd/d [%]	17,99 ± 0,12	17,53 ± 0,05	17,55 ± 0,12	17,55 ± 0,09	17,51 ± 0,08
	Δh/h [%]	18,02 ± 0,14	17,44 ± 0,12	17,42 ± 0,11	17,44 ± 0,17	17,46 ± 0,11
	ΔV/V [%]	44,86 ± 0,20	43,85 ± 0,09	43,86 ± 0,14	43,88 ± 0,21	43,83 ± 0,10
p = 80 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,21 ± 0,02	2,24 ± 0,02	2,25 ± 0,01	2,24 ± 0,02	2,24 ± 0,01
	F.D. [g/cm ³]	3,818 ± 0,008	3,814 ± 0,005	3,817 ± 0,008	3,829 ± 0,005	3,804 ± 0,004
	Δd/d [%]	17,44 ± 0,08	17,22 ± 0,06	17,24 ± 0,13	17,21 ± 0,09	17,21 ± 0,06
	Δh/h [%]	17,49 ± 0,08	17,11 ± 0,05	17,13 ± 0,17	17,09 ± 0,13	17,14 ± 0,11
	ΔV/V [%]	43,76 ± 0,11	43,19 ± 0,08	43,24 ± 0,20	43,18 ± 0,12	43,21 ± 0,13
p = 106 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,26 ± 0,03	2,27 ± 0,01	2,28 ± 0,02	2,27 ± 0,02	2,28 ± 0,02
	F.D. [g/cm ³]	3,842 ± 0,006	3,834 ± 0,006	3,834 ± 0,011	3,851 ± 0,004	3,829 ± 0,004
	Δd/d [%]	17,09 ± 0,05	16,94 ± 0,08	16,92 ± 0,05	17,00 ± 0,05	16,94 ± 0,10
	Δh/h [%]	17,09 ± 0,10	16,74 ± 0,09	16,93 ± 0,17	16,79 ± 0,15	16,88 ± 0,13
	ΔV/V [%]	43,06 ± 0,07	42,57 ± 0,07	42,66 ± 0,12	42,68 ± 0,06	42,65 ± 0,18
p = 133 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,28 ± 0,02	2,30 ± 0,01	2,31 ± 0,01	2,30 ± 0,01	2,30 ± 0,01
	F.D. [g/cm ³]	3,860 ± 0,004	3,842 ± 0,011	3,850 ± 0,004	3,860 ± 0,007	3,848 ± 0,004
	Δd/d [%]	16,94 ± 0,08	16,71 ± 0,12	16,73 ± 0,06	16,76 ± 0,09	16,76 ± 0,08
	Δh/h [%]	16,94 ± 0,17	16,62 ± 0,20	16,82 ± 0,05	16,63 ± 0,19	16,72 ± 0,16
	ΔV/V [%]	42,73 ± 0,20	42,16 ± 0,04	42,33 ± 0,09	42,23 ± 0,15	42,29 ± 0,13
p = 159 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,32 ± 0,02	2,32 ± 0,01	2,33 ± 0,01	2,32 ± 0,01	2,32 ± 0,01
	F.D. [g/cm ³]	3,867 ± 0,005	3,851 ± 0,008	3,861 ± 0,005	3,866 ± 0,005	3,855 ± 0,005
	Δd/d [%]	16,78 ± 0,11	16,58 ± 0,10	16,64 ± 0,06	16,59 ± 0,09	16,59 ± 0,05
	Δh/h [%]	16,77 ± 0,11	16,47 ± 0,12	16,71 ± 0,11	16,50 ± 0,16	16,61 ± 0,15
	ΔV/V [%]	42,36 ± 0,17	41,87 ± 0,18	42,13 ± 0,15	41,91 ± 0,21	41,99 ± 0,09
p = 186 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,33 ± 0,01	2,33 ± 0,02	2,34 ± 0,01	2,34 ± 0,02	2,34 ± 0,01
	F.D. [g/cm ³]	3,875 ± 0,009	3,858 ± 0,004	3,869 ± 0,008	3,873 ± 0,005	3,867 ± 0,006
	Δd/d [%]	16,64 ± 0,12	16,5 ± 0,06	16,56 ± 0,09	16,50 ± 0,06	16,45 ± 0,13
	Δh/h [%]	16,65 ± 0,10	16,38 ± 0,22	16,64 ± 0,17	16,44 ± 0,14	16,53 ± 0,21
	ΔV/V [%]	42,09 ± 0,18	41,69 ± 0,15	41,97 ± 0,08	41,74 ± 0,07	41,73 ± 0,16

¹ p - lisovací tlak

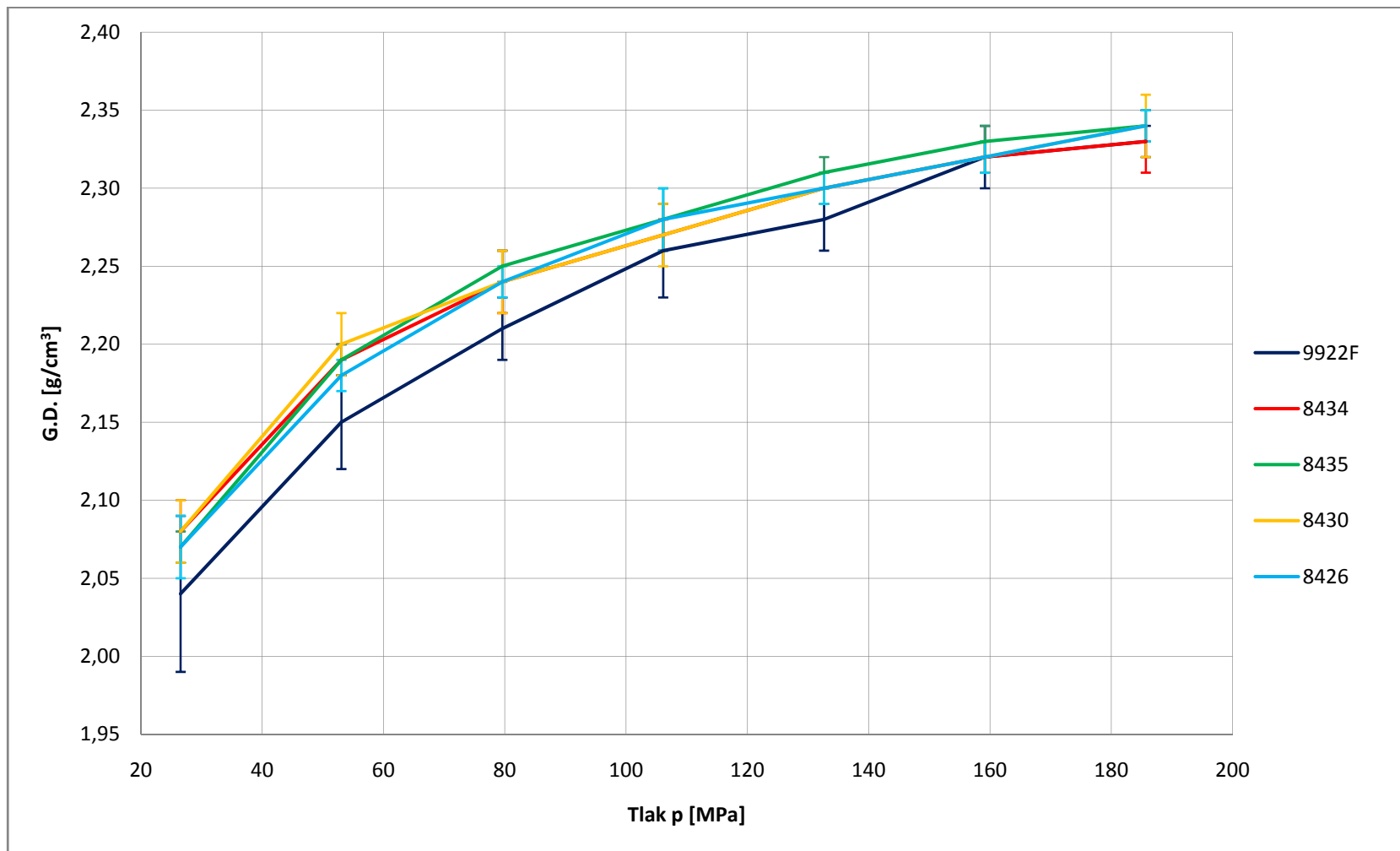
² G.D. - zelená hustota (včetně pórů)

³ F.D. - hustota po výpalu (včetně pórů)

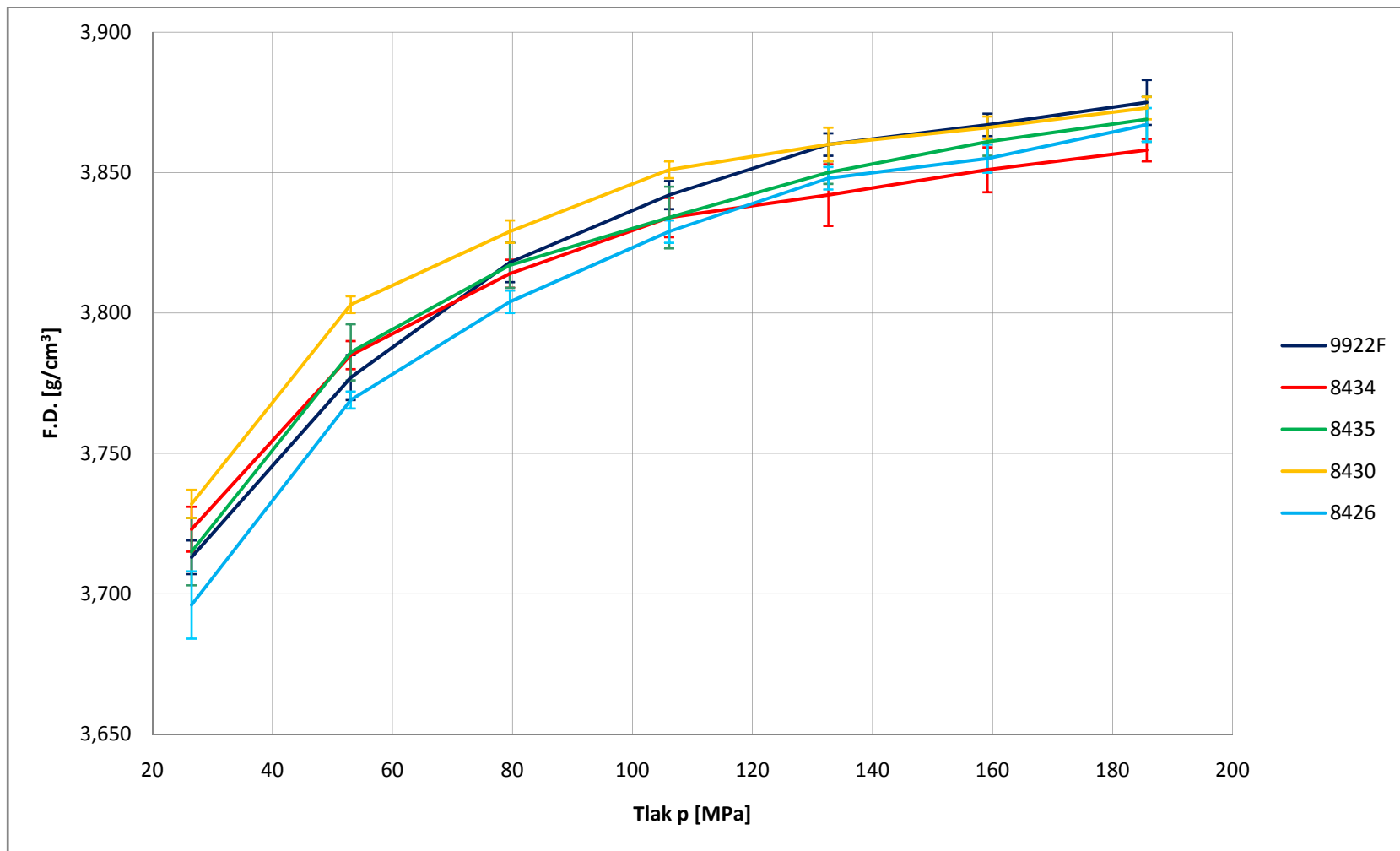
⁴ Δd/d - lineární smrštění (průměr)

⁵ Δh/h - lineární smrštění (výška)

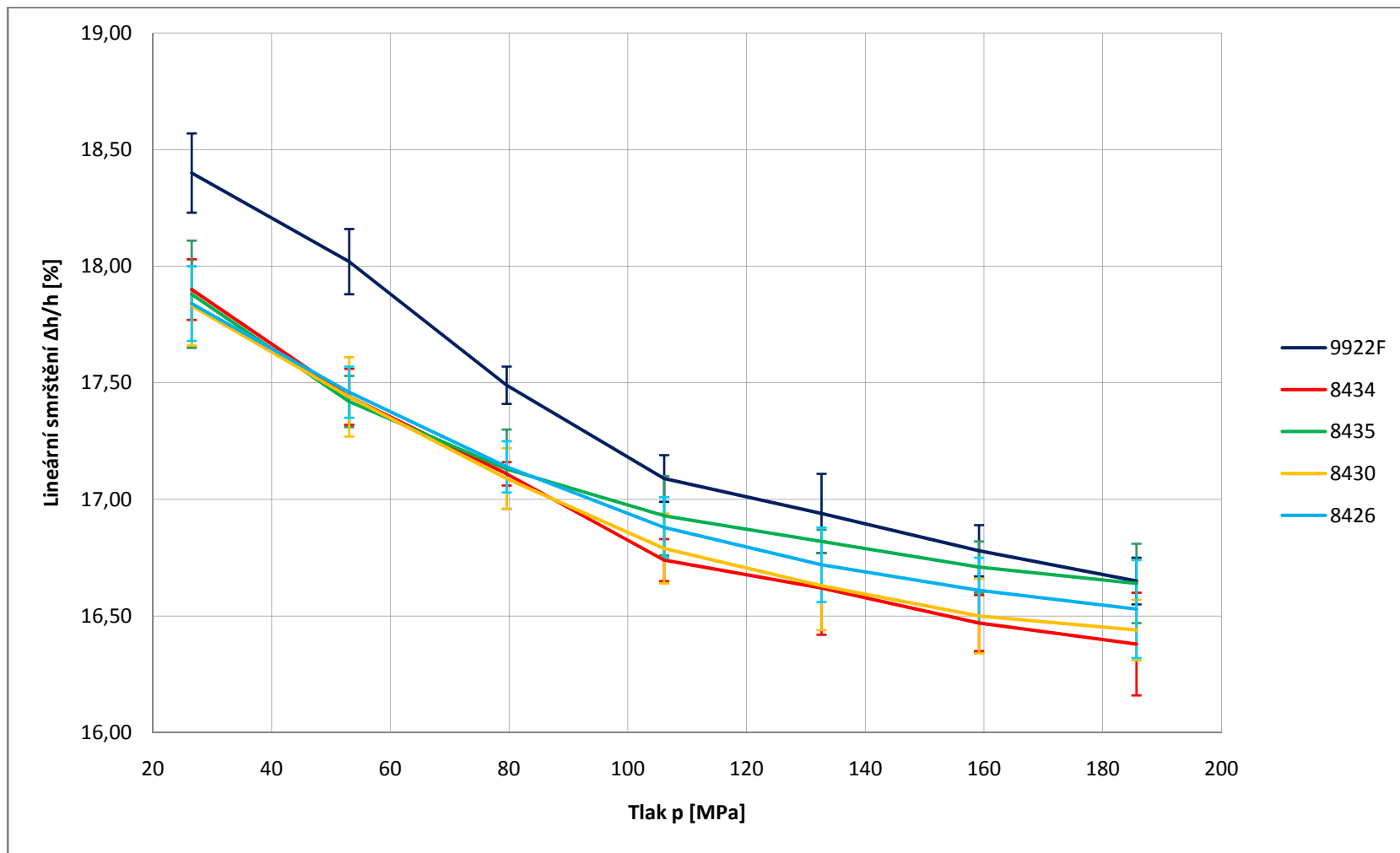
⁶ ΔV/V - objemové smrštění



Obr.3.9: Závislost G.D. na lisovacím tlaku povlakovaných granulátů a granulátu panenského (9922F)



Obr.3.10: Závislost F.D. na lisovacím tlaku povlakovaných granulátů a granulátu panenského (9922F)



Obr.3.11: Závislost lineárního smrštění na lisovacím tlaku povlakovaných granulátů a granulátu panenského (9922F)

Tab. 3.4: Naměřené hodnoty *F.D.*, *G.D.* a smrštění odsítovaných frakcí keramického granulátu NM9922F

		Vzorky			
		č.1 NM9922F	č.6 frakce 50-100	č.7 frakce 50-125	č.8 frakce 63-125
$p^1 = 27 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> ² [g/cm ³]	2,04 ± 0,05	2,02 ± 0,02	2,04 ± 0,02	2,05 ± 0,02
	<i>F.D.</i> ³ [g/cm ³]	3,713 ± 0,006	3,708 ± 0,010	3,732 ± 0,006	3,764 ± 0,010
	$\Delta d/d^4$ [%]	18,52 ± 0,07	18,47 ± 0,10	18,81 ± 0,06	18,87 ± 0,06
	$\Delta h/h^5$ [%]	18,40 ± 0,17	18,25 ± 0,13	18,68 ± 0,14	18,62 ± 0,10
	$\Delta V/V^6$ [%]	45,81 ± 0,14	45,66 ± 0,18	46,39 ± 0,13	46,44 ± 0,09
$p = 53 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> [g/cm ³]	2,15 ± 0,03	2,16 ± 0,02	2,16 ± 0,01	2,17 ± 0,02
	<i>F.D.</i> [g/cm ³]	3,777 ± 0,008	3,769 ± 0,008	3,803 ± 0,003	3,809 ± 0,005
	$\Delta d/d$ [%]	17,99 ± 0,12	17,79 ± 0,06	18,18 ± 0,07	18,17 ± 0,12
	$\Delta h/h$ [%]	18,02 ± 0,14	17,50 ± 0,08	18,05 ± 0,18	18,01 ± 0,13
	$\Delta V/V$ [%]	44,86 ± 0,20	44,25 ± 0,13	45,14 ± 0,19	45,10 ± 0,13
$p = 80 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> [g/cm ³]	2,21 ± 0,02	2,21 ± 0,02	2,22 ± 0,02	2,22 ± 0,01
	<i>F.D.</i> [g/cm ³]	3,818 ± 0,008	3,798 ± 0,009	3,826 ± 0,003	3,832 ± 0,004
	$\Delta d/d$ [%]	17,44 ± 0,08	17,48 ± 0,06	17,68 ± 0,07	17,67 ± 0,09
	$\Delta h/h$ [%]	17,49 ± 0,08	17,19 ± 0,21	17,55 ± 0,18	17,68 ± 0,12
	$\Delta V/V$ [%]	43,76 ± 0,11	43,61 ± 0,15	44,13 ± 0,17	44,20 ± 0,15
$p = 106 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> [g/cm ³]	2,26 ± 0,03	2,25 ± 0,01	2,25 ± 0,01	2,26 ± 0,02
	<i>F.D.</i> [g/cm ³]	3,842 ± 0,006	3,830 ± 0,002	3,846 ± 0,007	3,846 ± 0,003
	$\Delta d/d$ [%]	17,09 ± 0,05	17,16 ± 0,05	17,31 ± 0,10	17,27 ± 0,07
	$\Delta h/h$ [%]	17,09 ± 0,10	16,92 ± 0,09	17,34 ± 0,17	17,36 ± 0,20
	$\Delta V/V$ [%]	43,06 ± 0,07	43,00 ± 0,12	43,48 ± 0,13	43,44 ± 0,19
$p = 133 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> [g/cm ³]	2,28 ± 0,02	2,29 ± 0,01	2,28 ± 0,01	2,29 ± 0,02
	<i>F.D.</i> [g/cm ³]	3,860 ± 0,004	3,839 ± 0,003	3,854 ± 0,004	3,851 ± 0,004
	$\Delta d/d$ [%]	16,94 ± 0,08	16,96 ± 0,09	17,11 ± 0,07	16,99 ± 0,06
	$\Delta h/h$ [%]	16,94 ± 0,17	16,70 ± 0,08	17,19 ± 0,16	17,07 ± 0,08
	$\Delta V/V$ [%]	42,73 ± 0,20	42,56 ± 0,16	43,10 ± 0,13	42,86 ± 0,13
$p = 159 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> [g/cm ³]	2,32 ± 0,02	2,32 ± 0,01	2,30 ± 0,02	2,31 ± 0,02
	<i>F.D.</i> [g/cm ³]	3,867 ± 0,005	3,850 ± 0,004	3,857 ± 0,003	3,855 ± 0,005
	$\Delta d/d$ [%]	16,78 ± 0,11	16,68 ± 0,09	16,98 ± 0,06	16,71 ± 0,05
	$\Delta h/h$ [%]	16,77 ± 0,11	16,55 ± 0,13	17,10 ± 0,11	16,93 ± 0,14
	$\Delta V/V$ [%]	42,36 ± 0,17	42,06 ± 0,18	42,86 ± 0,14	42,38 ± 0,12
$p = 186 \text{ MPa}$	<i>G.D.</i> [g/cm ³]	2,33 ± 0,01	2,33 ± 0,01	2,32 ± 0,01	2,33 ± 0,01
	<i>F.D.</i> [g/cm ³]	3,875 ± 0,009	3,858 ± 0,002	3,862 ± 0,003	3,861 ± 0,005
	$\Delta d/d$ [%]	16,64 ± 0,12	16,54 ± 0,09	16,84 ± 0,09	16,48 ± 0,06
	$\Delta h/h$ [%]	16,65 ± 0,10	16,44 ± 0,16	17,00 ± 0,20	16,81 ± 0,15
	$\Delta V/V$ [%]	42,09 ± 0,18	41,80 ± 0,23	42,60 ± 0,21	41,96 ± 0,13

¹ p - lisovací tlak

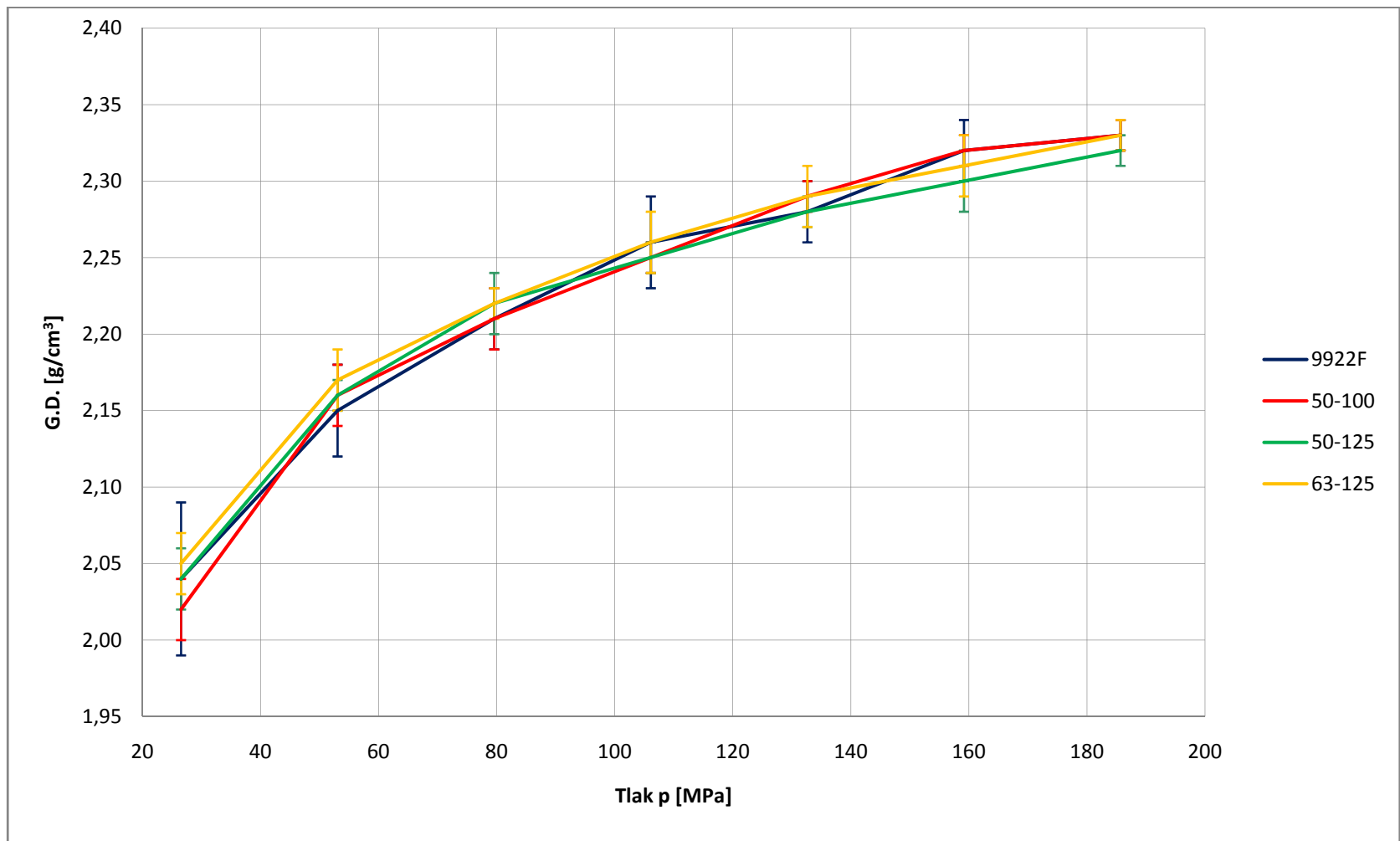
² *G.D.* - zelená hustota (včetně pórů)

³ *F.D.* - hustota po výpalu (včetně pórů)

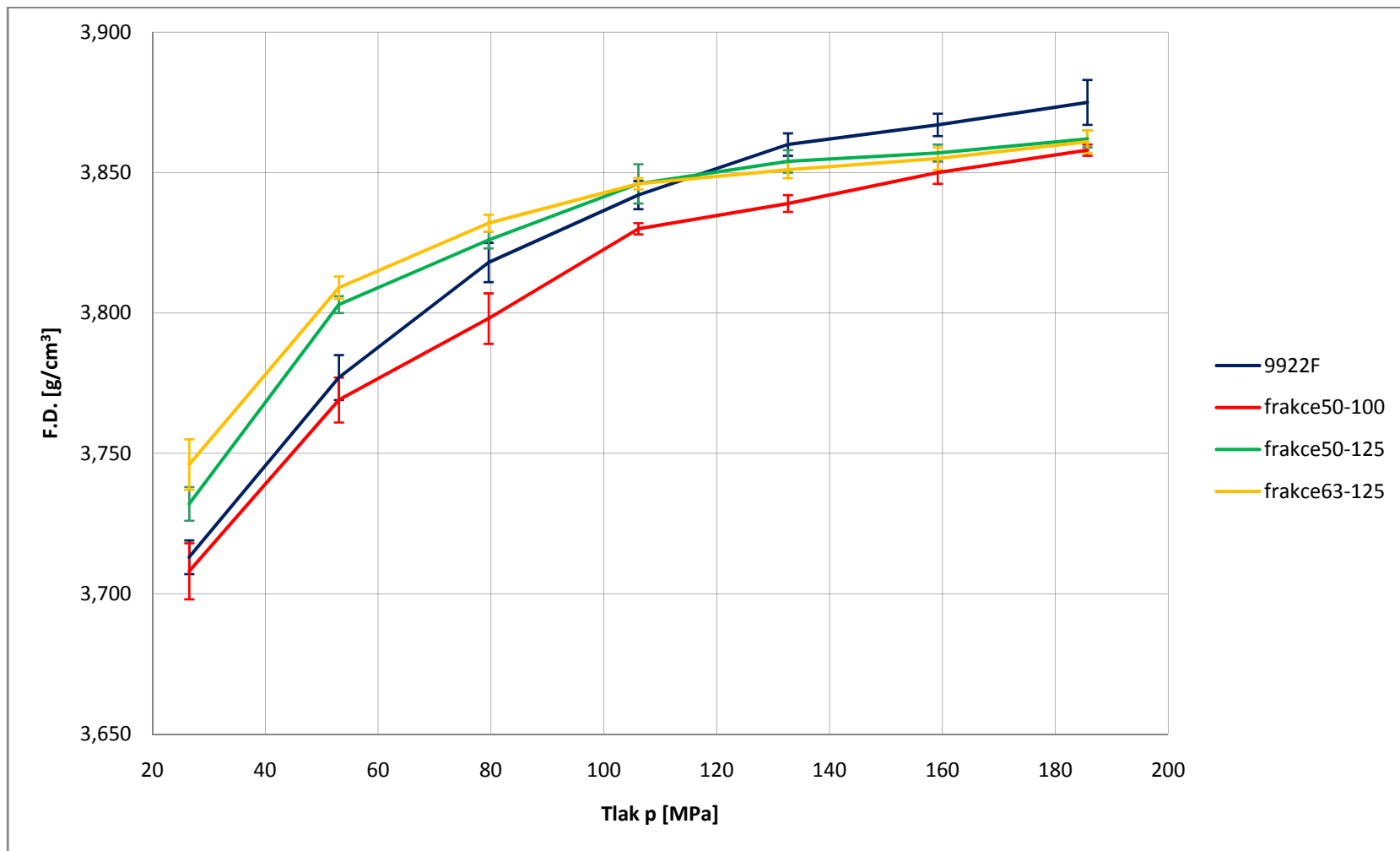
⁴ $\Delta d/d$ - lineární smrštění (průměr)

⁵ $\Delta h/h$ - lineární smrštění (výška)

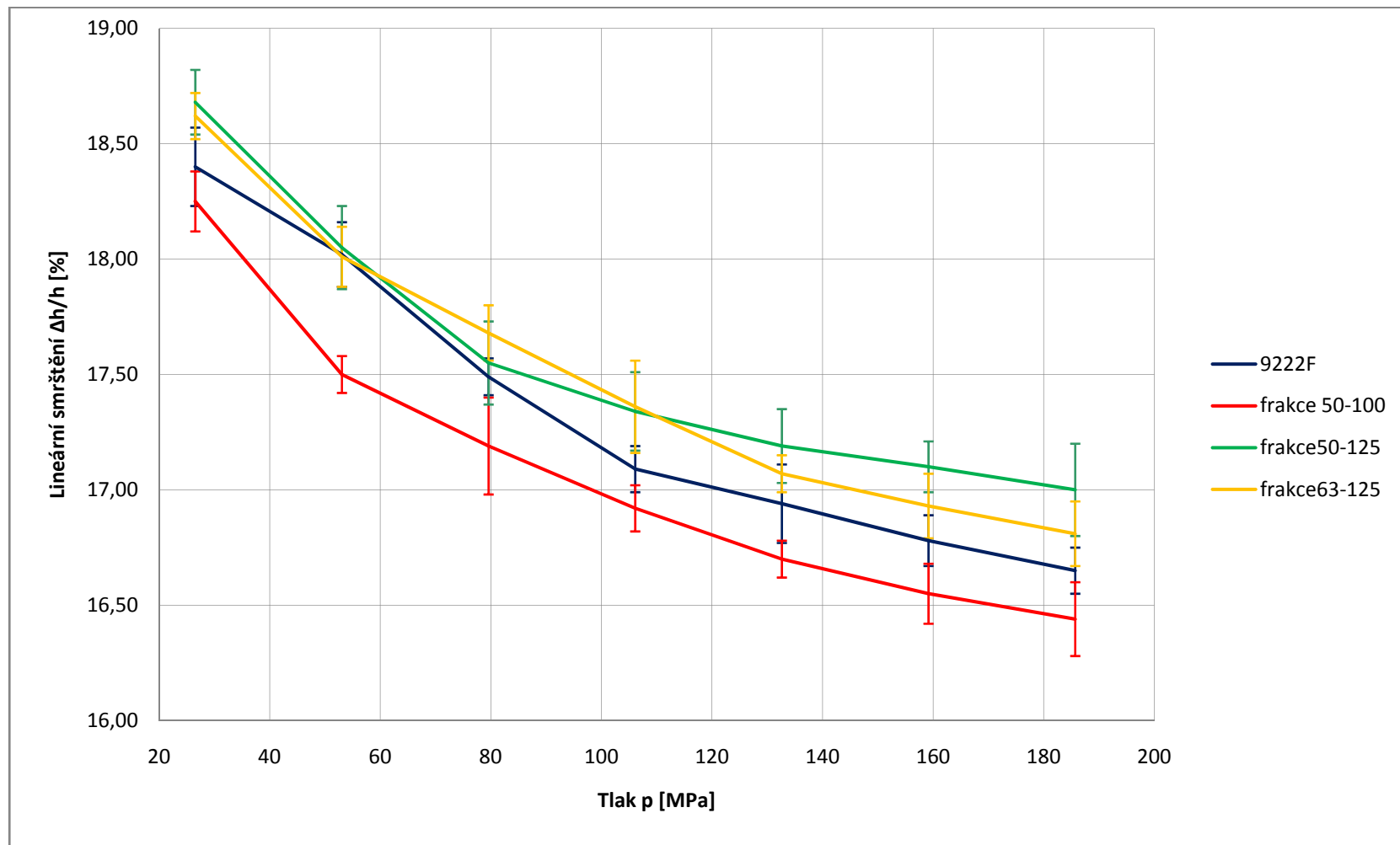
⁶ $\Delta V/V$ - objemové smrštění



Obr.3.12: Závislost G.D. na lisovacím tlaku odsítovaných frakcí



Obr.3.13: Závislost F.D. na lisovacím tlaku odsítovaných frakcí



Obr.3.14: Závislost lineárního smrštění na lisovacím tlaku odsítovaných frakcí

Tab. 3.5: Naměřené hodnoty FD, GD a smrštění granulátu NM9922F lisovaného při různých poměrech h/d

		Vzorky		
		Č.1 - NM9922F poměr h/d=0,883	Č.9 - NM9922F poměr h/d=0,658	Č.10 - NM9922F poměr h/d=0,403
p ¹ = 27 MPa	G.D. ² [g/cm ³]	2,04 ± 0,05	2,06 ± 0,02	2,06 ± 0,03
	F.D. ³ [g/cm ³]	3,713 ± 0,006	3,759 ± 0,007	3,792 ± 0,006
	Δd/d ⁴ [%]	18,52 ± 0,07	18,78 ± 0,08	18,76 ± 0,12
	Δh/h ⁵ [%]	18,40 ± 0,17	18,60 ± 0,22	18,71 ± 0,11
	ΔV/V ⁶ [%]	45,81 ± 0,14	46,29 ± 0,16	46,34 ± 0,18
p = 53 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,15 ± 0,03	2,18 ± 0,01	2,17 ± 0,02
	F.D. [g/cm ³]	3,777 ± 0,008	3,815 ± 0,008	3,835 ± 0,008
	Δd/d [%]	17,99 ± 0,12	18,06 ± 0,06	18,06 ± 0,06
	Δh/h [%]	18,02 ± 0,14	17,96 ± 0,16	17,82 ± 0,21
	ΔV/V [%]	44,86 ± 0,20	44,91 ± 0,16	44,82 ± 0,12
p = 80 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,21 ± 0,02	2,22 ± 0,02	2,21 ± 0,01
	F.D. [g/cm ³]	3,818 ± 0,008	3,844 ± 0,006	3,859 ± 0,011
	Δd/d [%]	17,44 ± 0,08	17,61 ± 0,01	17,58 ± 0,06
	Δh/h [%]	17,49 ± 0,08	17,51 ± 0,18	17,41 ± 0,21
	ΔV/V [%]	43,76 ± 0,11	44,00 ± 0,12	43,89 ± 0,15
p = 106 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,26 ± 0,03	2,26 ± 0,04	2,27 ± 0,03
	F.D. [g/cm ³]	3,842 ± 0,006	3,858 ± 0,007	3,871 ± 0,010
	Δd/d [%]	17,09 ± 0,05	17,23 ± 0,10	17,10 ± 0,06
	Δh/h [%]	17,16 ± 0,10	17,26 ± 0,13	16,96 ± 0,19
	ΔV/V [%]	43,06 ± 0,07	43,31 ± 0,21	42,92 ± 0,16
p = 133 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,28 ± 0,02	2,30 ± 0,01	2,29 ± 0,03
	F.D. [g/cm ³]	3,860 ± 0,004	3,868 ± 0,005	3,882 ± 0,004
	Δd/d [%]	16,94 ± 0,08	16,93 ± 0,05	16,88 ± 0,05
	Δh/h [%]	16,94 ± 0,17	16,88 ± 0,31	16,77 ± 0,20
	ΔV/V [%]	42,73 ± 0,20	42,64 ± 0,23	42,49 ± 0,18
p = 159 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,32 ± 0,02	2,32 ± 0,02	2,32 ± 0,03
	F.D. [g/cm ³]	3,867 ± 0,005	3,875 ± 0,003	3,893 ± 0,006
	Δd/d [%]	16,78 ± 0,11	16,72 ± 0,05	16,71 ± 0,05
	Δh/h [%]	16,77 ± 0,11	16,76 ± 0,07	16,56 ± 0,22
	ΔV/V [%]	42,36 ± 0,17	42,26 ± 0,03	42,12 ± 0,12
p = 186 MPa	G.D. [g/cm ³]	2,33 ± 0,01	2,33 ± 0,01	2,34 ± 0,03
	F.D. [g/cm ³]	3,875 ± 0,009	3,884 ± 0,002	3,900 ± 0,003
	Δd/d [%]	16,64 ± 0,12	16,58 ± 0,06	16,60 ± 0,09
	Δh/h [%]	16,65 ± 0,10	16,56 ± 0,15	16,45 ± 0,23
	ΔV/V [%]	42,09 ± 0,18	41,93 ± 0,06	41,89 ± 0,11

¹ p - lisovací tlak

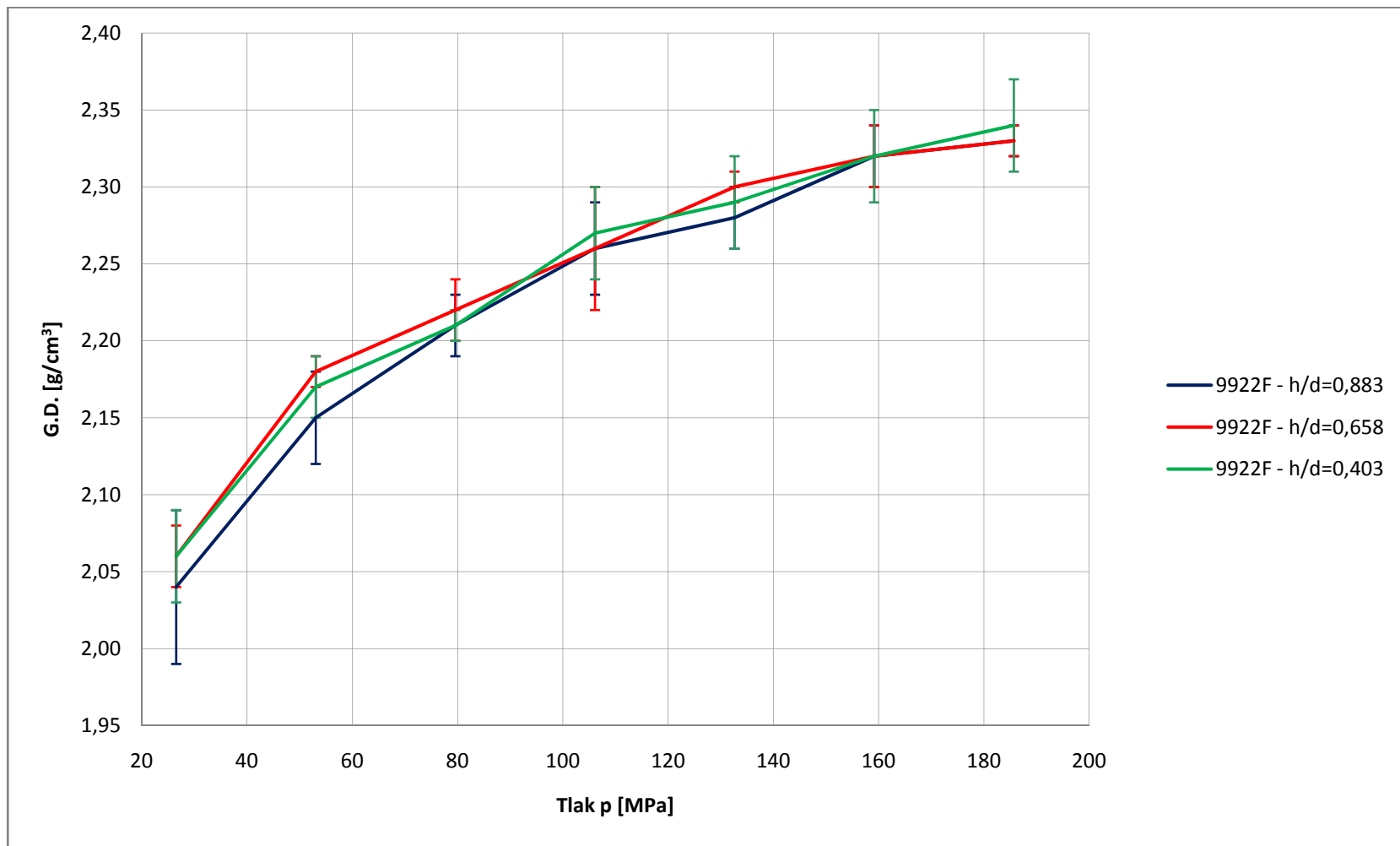
² G.D. - zelená hustota (včetně pórů)

³ F.D. - hustota po výpalu (včetně pórů)

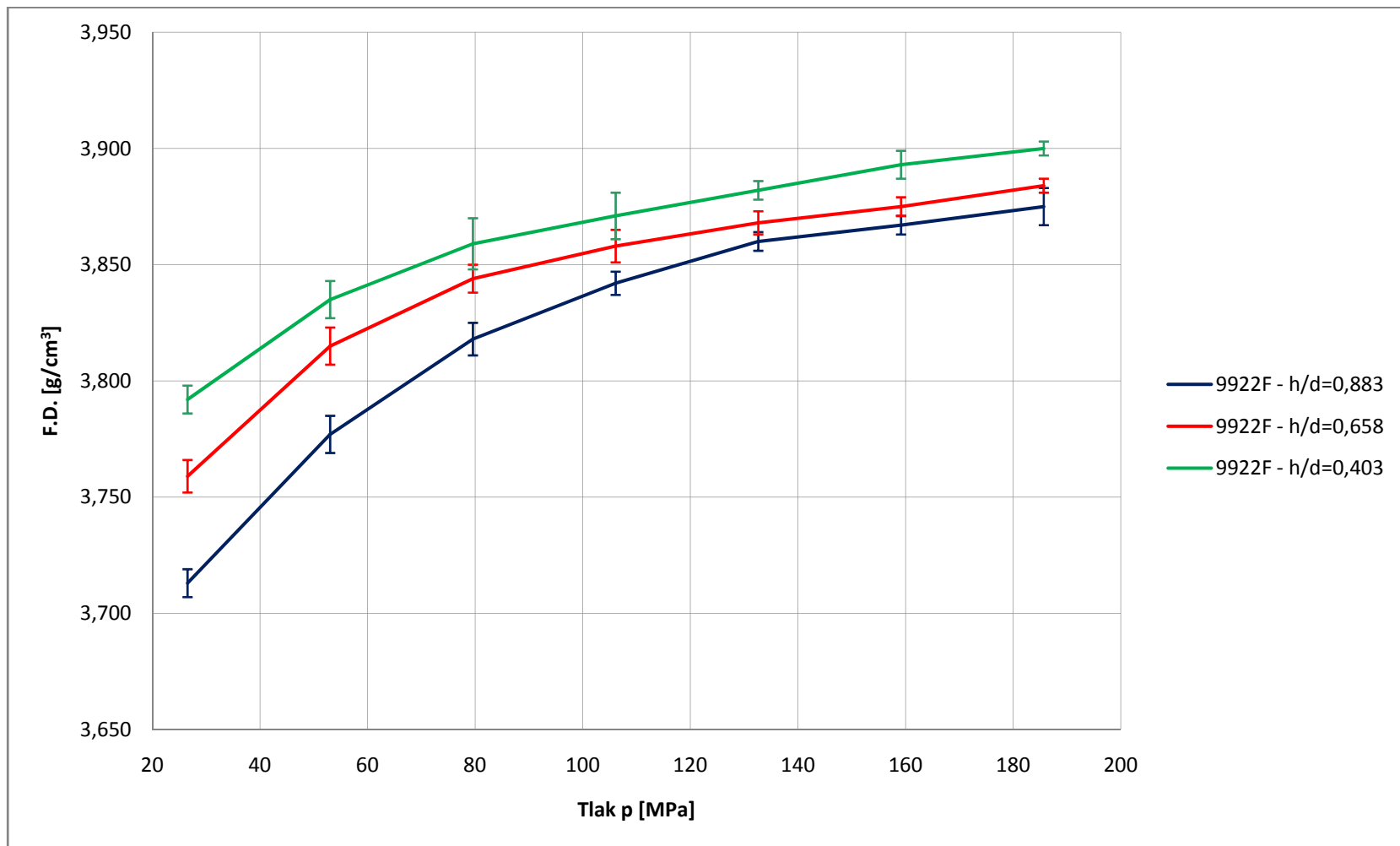
⁴ Δd/d - lineární smrštění (průměr)

⁵ Δh/h - lineární smrštění (výška)

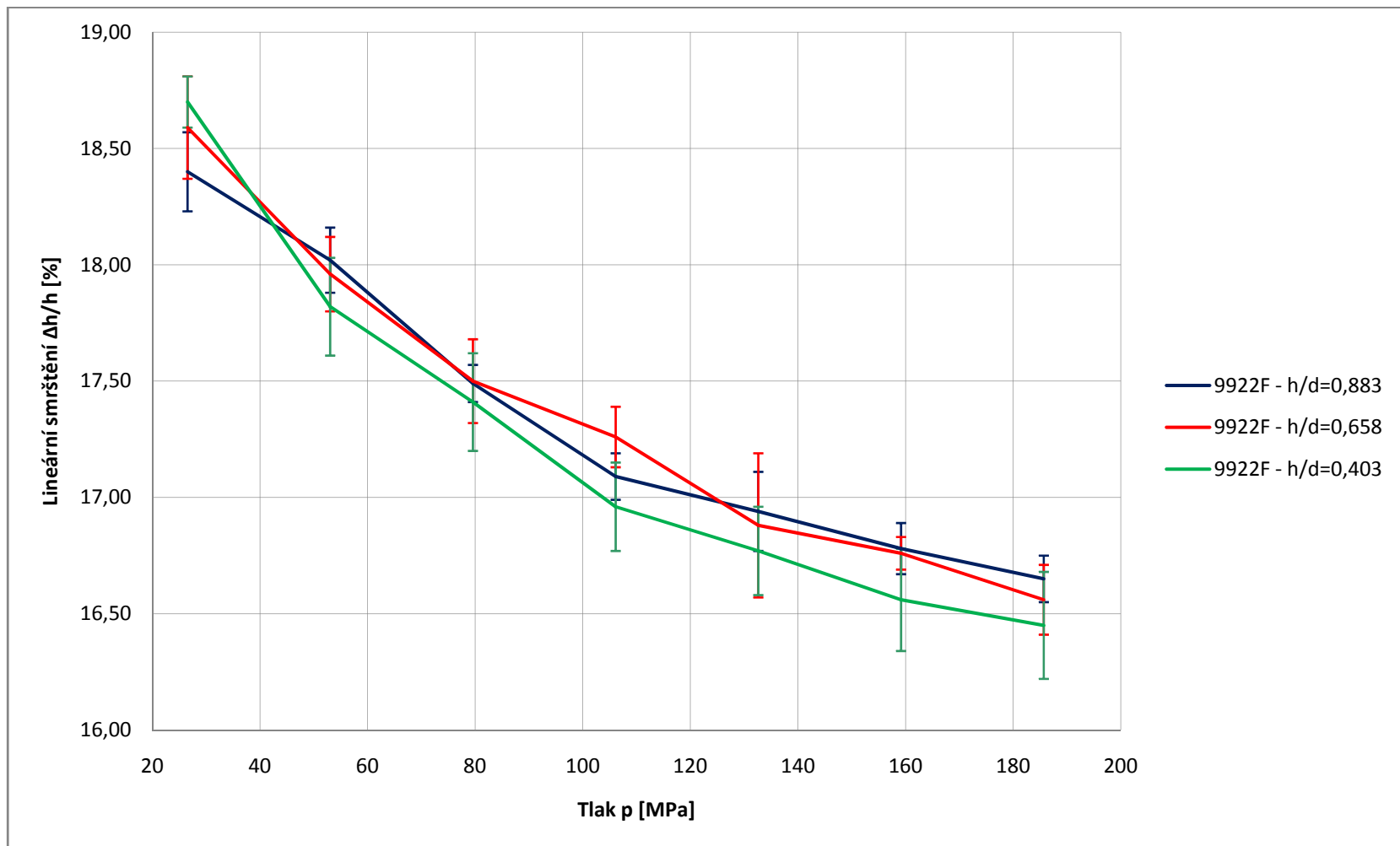
⁶ ΔV/V - objemové smrštění



Obr.3.15: Závislost G.D. na lisovacím tlaku granulátu NM9922F (různé poměry h/d)



Obr.3.16: Závislost F.D. na lisovacím tlaku granulátu NM9922F (různé poměry h/d)



Obr.3.17: Závislost lineárního smrštění na lisovacím tlaku granulátu NM9922F (různé poměry h/d)

3.2.4 Vyhodnocení experimentu

Z naměřených hodnot a výsledků provedeného experimentu lze stanovit několik dílčích závěrů:

1, U povlakovaných granulátů nebylo detekováno zvýšení *G.D.* oproti granulátu panenskému. (viz. obr. 3.9)

2, Povlakování nevedlo kromě granulátu 8430 ke zvýšení *F.D.* U povlakovaného granulátu 8430 bylo zvýšení *F.D.* patrné v rozmezí tlaků 0 – 105 MPa. (viz. obr. 3.10)

3, Povlakováním došlo ke snížení lineárního smrštění. (viz. obr. 3.11)

4, U odsítovaných frakcí (50-100 μm , 50-125 μm , 63-125 μm) nebyla prokázána změna *G.D.* oproti granulátu panenskému. Byly však detekovány změny *F.D.* U frakce 50 - 100 μm došlo k poklesu *F.D.*, u frakcí 50-125 μm a 63-125 μm došlo naopak k růstu *F.D.* Ten byl prokazatelný v rozsahu tlaků 0 – 80 MPa. (viz. obr. 3.12 - 3.14)

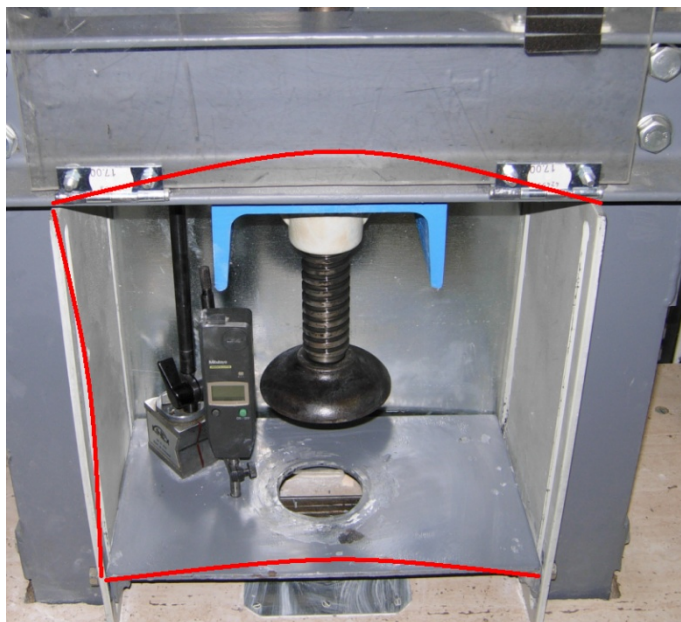
5, Při změně poměru hloubky dutiny formy *h* a průměru dutiny formy *d* byla prokázána souvislost mezi snižováním poměru *h/d* a zvyšováním *F.D.* (viz. obr. 3.15 - 3.17)

3.3 Zjištění průběhu lisovatelnosti

Cílem experimentu bylo stanovení závislosti mezi stlačením keramického granulátu v dutině formy a lisovacím tlakem.

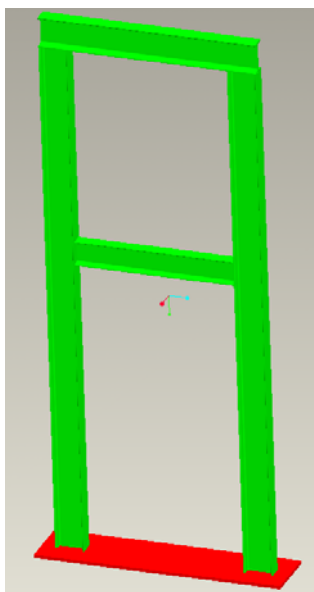
3.3.1 Měřicí zařízení a pomůcky

Původním záměrem bylo využití stejného lisu, který byl použit v experimentální části 3.2. K němu měl být připevněn digitální úchylkoměr, jímž by se sledovalo stlačení keramického granulátu. Tento princip však nemohl být využit z důvodu malé tuhosti lisu. Z obrázku obr. 3.18 je vidět, že při realizaci tohoto principu, docházelo k deformacím lisu ve všech částech jeho konstrukce. Průhyby na dolní podpěrné desce, na níž byl umístěn úchylkoměr, a v horní části konstrukce, která nesla přidržovací šroub, způsobily značné nepřesnosti měření. Experimentálně byla změřena deformace w v horní části lisu. Její velikost se při zatížení $F = 21 \text{ kN}$ pohybovala v rozmezí $0,4 - 0,5 \text{ mm}$. Tyto nepřesnosti se při odečítání stlačení keramického granulátu samozřejmě projeví, neboť nedocházelo k odečítání stlačení keramického granulátu, ale odečítání stlačení + průhybu konstrukce.



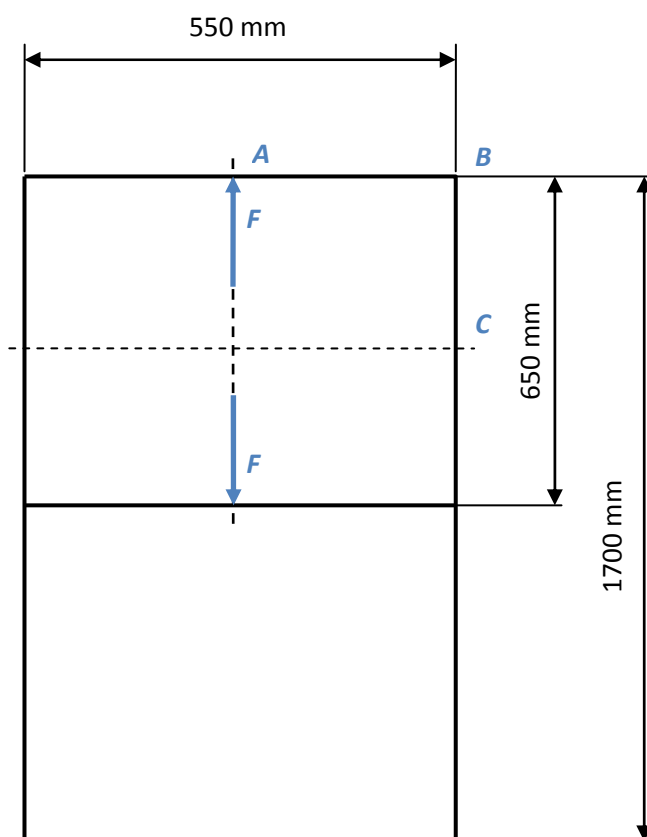
Obr. 3.18: Naznačení deformace původního lisu

Z důvodu značné elastické deformace lisu firmy SAINT GOBAIN bylo sestaveno jiné podobné měřicí zařízení - lis. Jeho základem byla konstrukce z I profilů (I 100/A ČSN 42 5550.0 –13373.0).



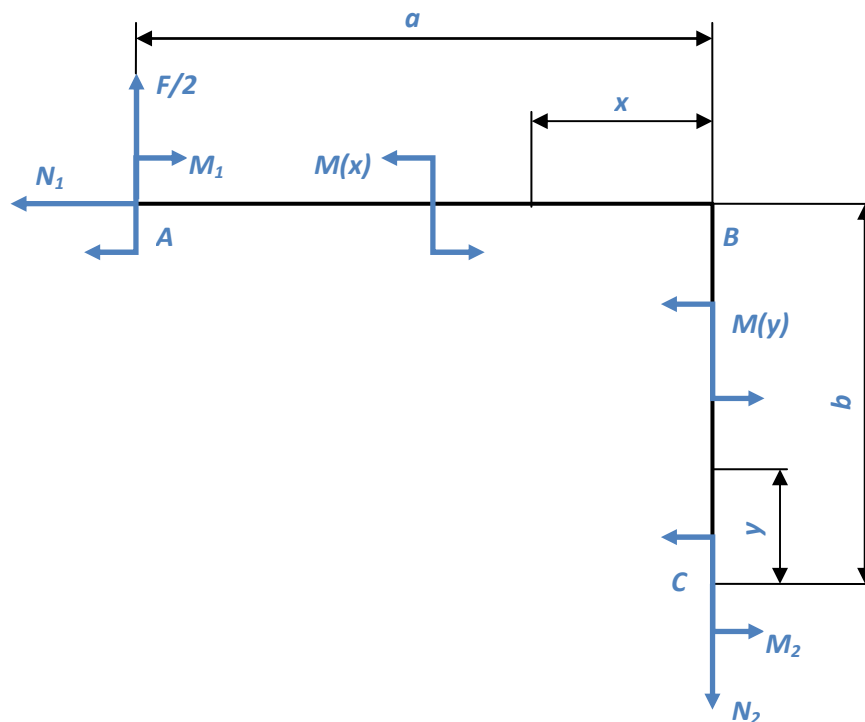
Obr. 3.19: Konstrukce měřícího zařízení

Je však zřejmé, že i tato konstrukce bude mít určitou elastickou deformaci a ta by rovněž ovlivňovala naměřené hodnoty. To lze ověřit jednoduchým výpočtem.



Obr. 3.20: Schéma působení sil

Při výpočtu deformace konstrukce lze rám rozdělit podle os symetrie na čtyři stejné souměrné části. Po zavedení vnitřních statických účinků sestavíme rovnice rovnováhy.



Obr. 3.21: Vnitřní statické účinky

$$N_2 = F / 2$$

$$N_1 = 0$$

$$F / 2 \cdot a + M_1 - M_2 = 0$$

Soustava je jednou staticky neurčitá, zapíšeme podmínku pro minimum deformační energie.

$$\frac{\partial U}{\partial M_2} = 0$$

Nyní dosadíme a dopočteme M_2 :

$$M(y) = M_2$$

$$M(x) = M_2 - N_2 \cdot x = M_2 - \frac{F}{2} \cdot x$$

$$U = \frac{1}{2 \cdot EJ} \left\{ \int_0^b M^2(y) \cdot dy + \int_0^a M^2(x) \cdot dx \right\} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial M_2} = 0 = \frac{4}{2.E.J} \left\{ \int_0^b M^2(y).dy + \int_0^a M^2(x).dx \right\}$$

$$\frac{\partial U}{\partial M_2} = 0 = \frac{4}{2.E.J} \left\{ \int_0^b 2.M_2.dy + \int_0^a 2.(M_2 - \frac{F.x}{2}).dx \right\}$$

$$M_2.b + M_2.a - \frac{F.a^2}{4} = 0$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{M_2 = \frac{F.a^2}{4.(a+b)}}}$$

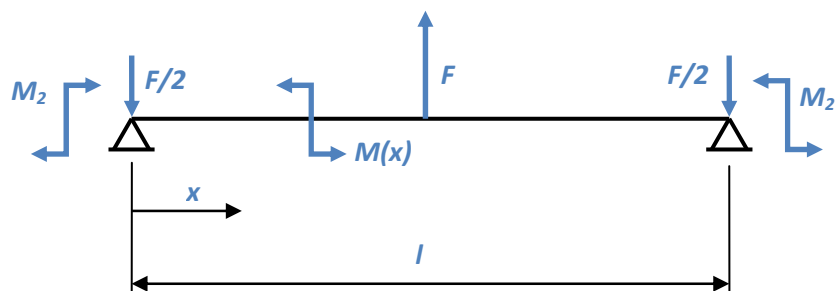
V úseku BC tedy působí vnitřní statické účinky:

$$M_2 = \frac{F.a^2}{4.(a+b)} \qquad N_2 = \frac{F}{2}$$

V úseku AB:

$$\begin{aligned} M_A(a) &= M_2 - \frac{F}{2}.a \\ M_A(b) &= M_2 \end{aligned} \qquad N_1 = 0$$

Průhyb w lze vypočítat jako průhyb následujícího nosníku např. metodou integrace diferenciální rovnice průhybové čáry.



Obr. 3.22: Schéma nosníku

$$M(x) = M_2 - \frac{F}{2} \cdot x$$

$$w' = \frac{-M(x) \cdot dx}{E \cdot J} \quad (3.2)$$

$$w'' = \frac{-(M_2 - \frac{F}{2} \cdot x) \cdot dx}{E \cdot J}$$

$$w' = \frac{-M_2 \cdot x + \frac{F \cdot x^2}{4}}{E \cdot J} + c_1$$

$$w = \frac{-\frac{M_2 \cdot x^2}{2} + \frac{F \cdot x^3}{12}}{E \cdot J} + c_1 \cdot x + c_2$$

Integrační konstanty dopočteme z okrajových podmínek.

$$w(0) = 0 \qquad w'(l/2) = 0$$

$$w(0) = 0 + c_2 \Rightarrow c_2 = 0$$

$$w'(l/2) = 0 = \frac{-\frac{M_2 \cdot l}{2} - \frac{F \cdot (l/2)^2}{4}}{E \cdot J} + c_1$$

$$\Rightarrow c_1 = \underline{\underline{\frac{\frac{M_2 \cdot l}{2} - \frac{F \cdot l^2}{16}}{E \cdot J}}}$$

$$w = \frac{-\frac{M_2 \cdot x^2}{2} + \frac{F \cdot x^3}{12}}{E \cdot J} + \frac{\frac{M_2 \cdot l \cdot x}{2} - \frac{F \cdot l^2 \cdot x}{16}}{E \cdot J}$$

$$\underline{\underline{w(\max) = w(l/2) = \frac{\frac{M_2 \cdot l^2}{8} - \frac{1}{48} \cdot F \cdot l^3}{E \cdot J}}}$$

$$\underline{\underline{w(l/2)}} = \frac{\frac{F \cdot a^2 \cdot l^2}{32 \cdot (a+b)} - \frac{1}{48} \cdot F \cdot l^3}{E \cdot J} = \frac{\frac{20 \cdot 10^3 \cdot 0,55^2 \cdot 0,275^2}{32 \cdot (0,275 + 0,325)} - \frac{1}{48} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,55^3}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,71 \cdot 10^{-12}} = \underline{\underline{-0,127 \text{ mm}}}$$

Boční profily jsou namáhány na tah a působí v nich síla $F/2$. Prodloužení těchto profilů lze vypočítat následovně.

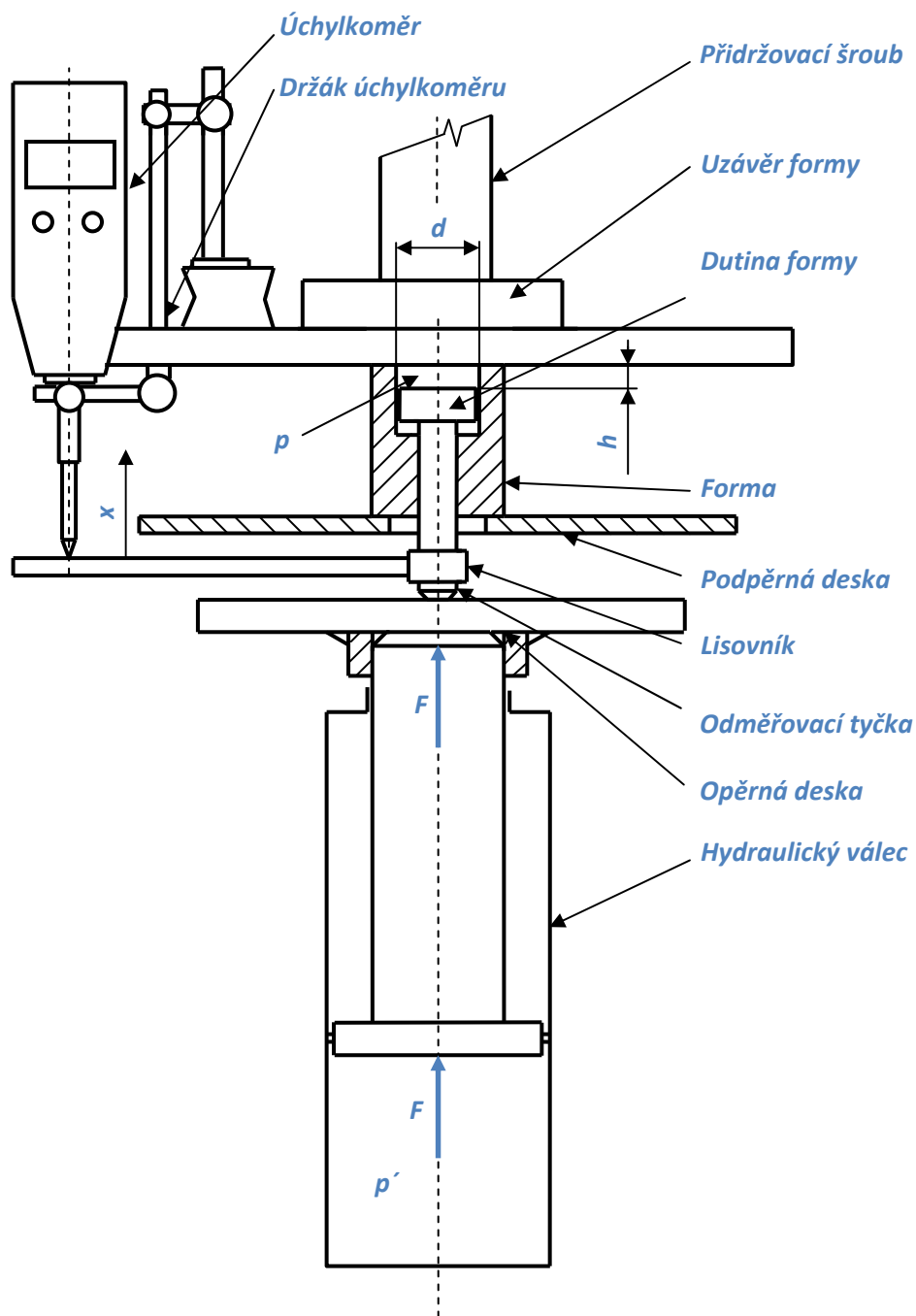
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F}{S \cdot E} = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\underline{\underline{\Delta l = \frac{F \cdot l}{S \cdot E}}} \quad (3.3)$$

$$\underline{\underline{\Delta l = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 0,65}{1060 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 0,029 \text{ mm}}}$$

Z výpočtu vidíme, že i tato konstrukce z I profilů se prohýbá. Pokud bychom chtěli minimalizovat tuto deformaci pod 0,01 mm, bylo by potřeba konstrukci sestavit z profilů I 220.

Původní princip odměřování bylo tedy nutné pozměnit tak, aby průhyb neovlivňoval naměřené hodnoty. Zvolené řešení je patrné z obr.3.23.

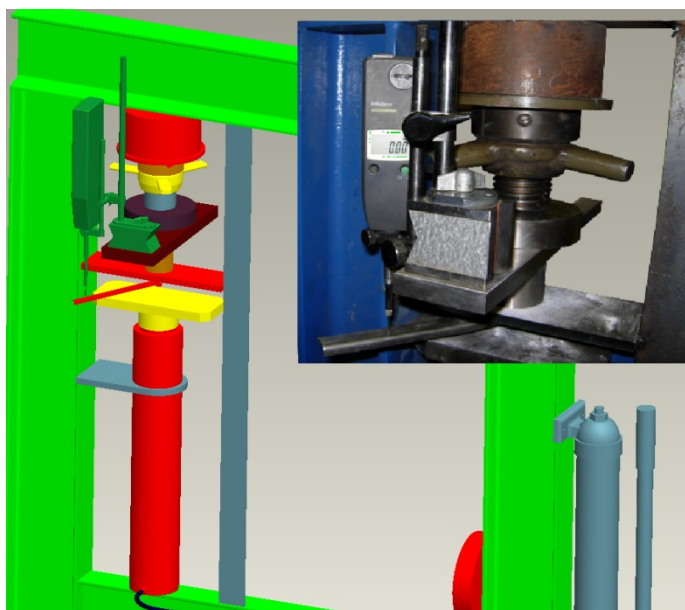


Obr. 3.23: Schéma lisu

Jako uzávěr formy byla použita broušená ocelová deska tloušťky 15 mm. Na ní byl umístěn úchylkoměr k odměřování stlačení. Tímto způsobem byla zajištěna odolnost proti průhybu konstrukce.

Původně bylo stlačení odečítáno od opěrné desky. Zde však nebylo možné zjistit přesný okamžik, kdy se tato deska dotkla lisovníku a kdy došlo k počátku

stlačování keramického granulátu. Z tohoto důvodu byl vyroben na lisovník nákužek s přivařenou tyčkou k odečítání stlačení. Nákužek byl vyroben tak, aby mezi ním a lisovníkem nebyla žádná vůle. Jeho uchycení bylo zajištěno pomocí dvou stavěcích šroubů. Tímto způsobem byla zajištěna stálá poloha nákužku bez možnosti pohybu vůči lisovníku. Díky tomu bylo možné zjistit okamžik, kdy bylo započato stlačování keramického granulátu.



Obr. 3.24: Lis

Tlak p' , který byl v hydraulickém válci vyvozen ruční hydraulickou pumpou, byl sledován pomocí manometru a následně byl přepočten na tlak působící v dutině formy na keramický granulát.

Tab. 3.6: Přepočtené tlaky

Tlak ve válci p' [MPa]	Lisovací síla F [kN]	Tlak v dutině formy p [MPa]
0	0	0
1	1,96	17,36
2	3,93	34,72
3	5,89	52,08
4	7,85	69,44
5	9,82	86,81
6	11,78	104,17
7	13,74	121,53
8	15,71	138,89
9	17,67	156,25
10	19,63	173,61

Stejně jako v části 3.2 byla použita forma o průměru dutiny $d = 12$ mm.

3.3.2 Postup měření

Ke zjištění průběhu lisovatelnosti bylo použito popsaného měřicího zařízení – lisu. Při měření byly odečítány hodnoty tlaku p působícího na keramický granulát a stlačení keramického granulátu x . Stlačení bylo realizováno v rozmezí tlaků 0 – 174 MPa. K zápisu hodnot docházelo po kroku 8,7 MPa, tj. bylo odečteno 20 hodnot. Z nich byla přepočtem získána závislost aktuální $G.D.$ ¹ v dutině formy na lisovacím tlaku p . Každé měření bylo desetkrát opakováno a následně statisticky vyhodnoceno.

3.3.3 Naměřené hodnoty

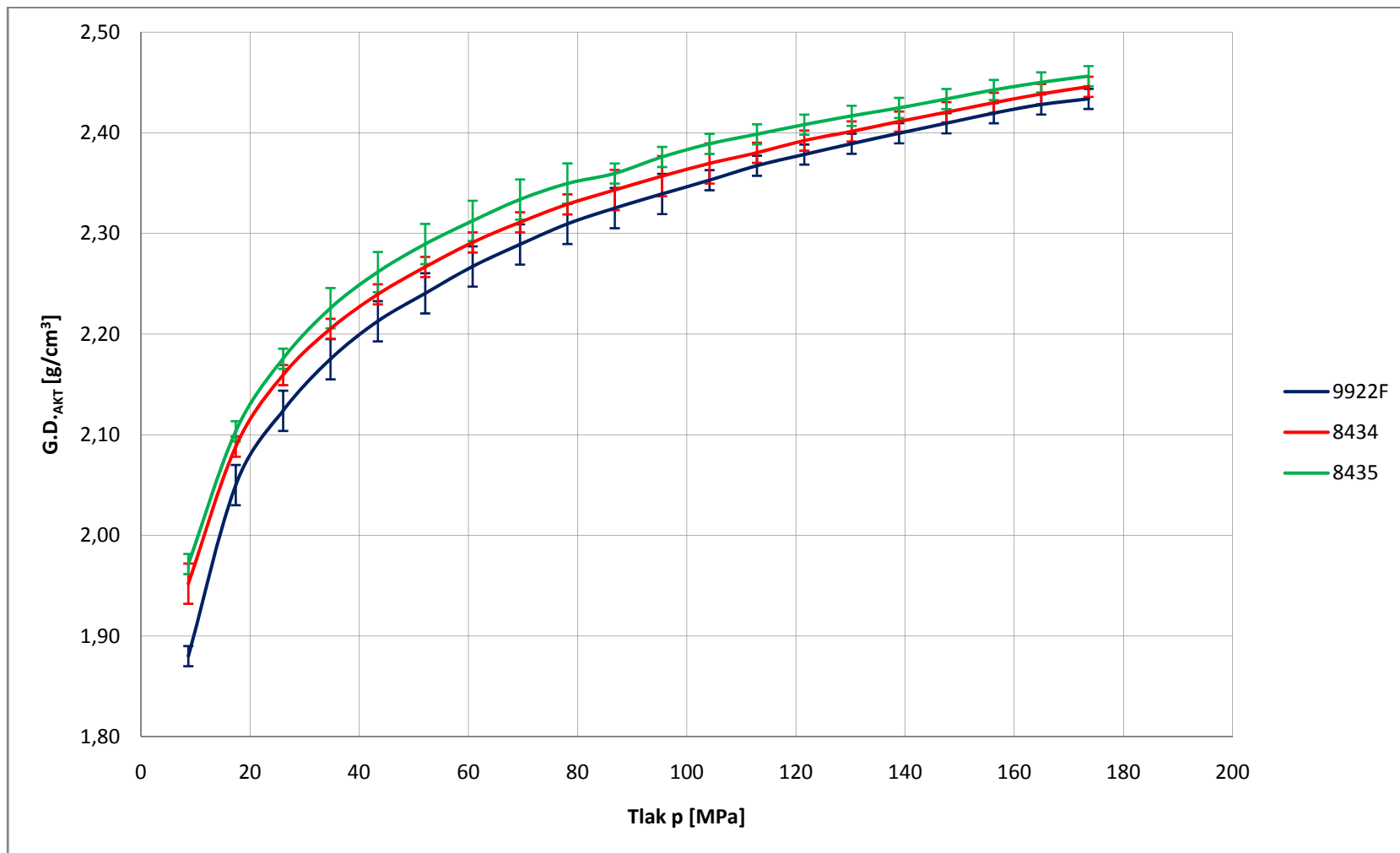
Konečné výsledky jsou uvedeny v tab. 3.7 – 3.9 a jejich grafické znázornění je na obr. 3.25 – 3.28. Kompletní naměřené hodnoty, včetně grafického znázornění jsou uvedeny v přílohách č. 15 – č. 24.

¹ Aktuální $G.D.$ je myšlena $G.D.$ v dutině formy během lisovacího procesu. Po vyjmutí z dutiny formy formy dojde k nárůstu objemu výrobku vlivem elastické deformace, a tedy snížení $G.D.$

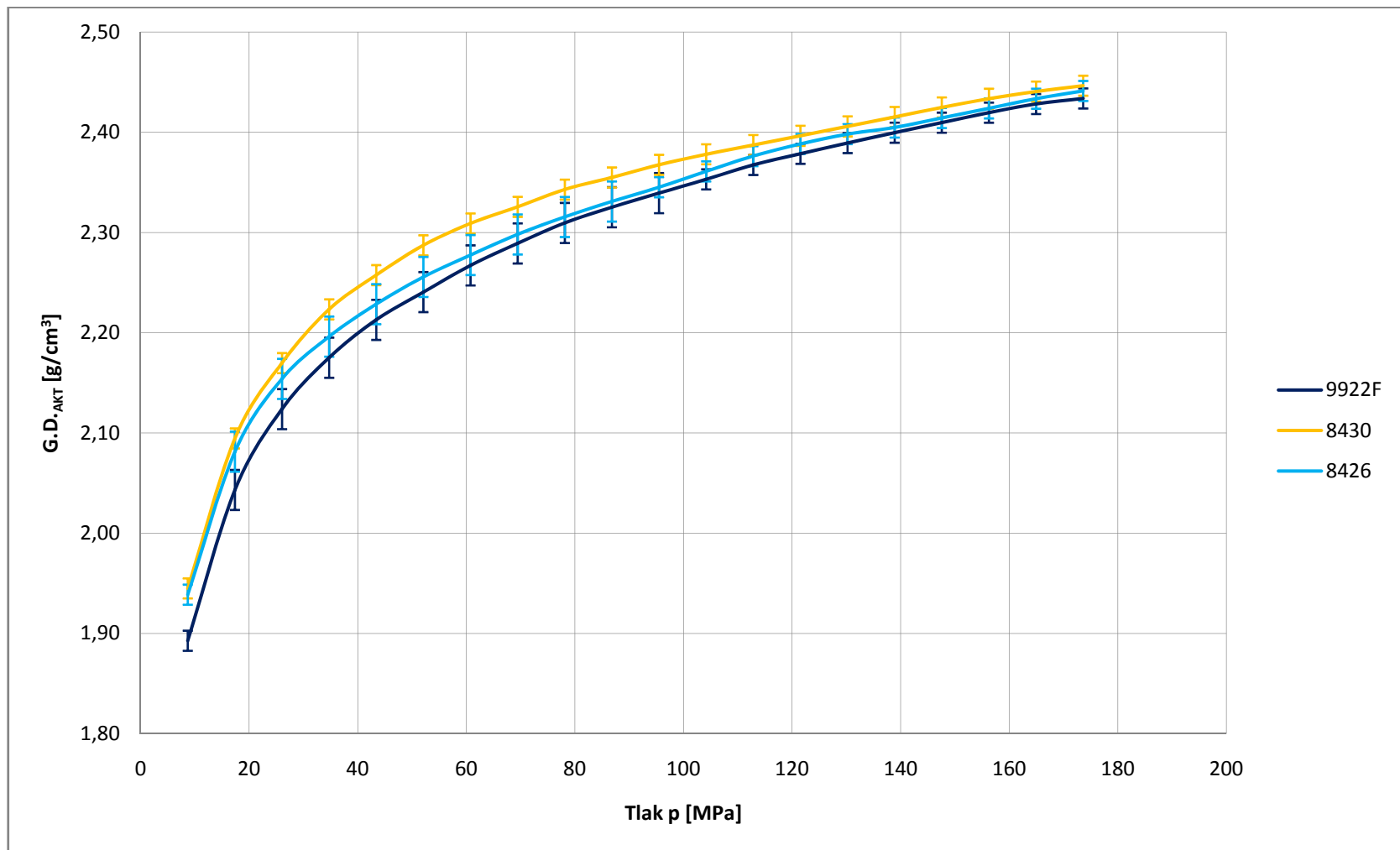
Tab. 3.7: Závislosti $G.D_{AKT}$ na lisovacím tlaku panenského granulátu NM9922F a granulátů povlakovaných

p^1 [MPa]	Zelená hustota $G.D_{AKT}$ [g/cm ³]				
	č.1 – NM9922F	č.2 - 8434	č.3 - 8435	č.4 - 8430	č.5 - 8426
0,00	1,10 ± 0,01	1,19 ± 0,01	1,19 ± 0,01	1,16 ± 0,01	1,15 ± 0,01
8,68	1,89 ± 0,01	1,95 ± 0,02	1,97 ± 0,01	1,94 ± 0,01	1,94 ± 0,01
17,36	2,04 ± 0,02	2,09 ± 0,01	2,10 ± 0,01	2,09 ± 0,01	2,08 ± 0,02
26,04	2,12 ± 0,02	2,16 ± 0,01	2,18 ± 0,01	2,17 ± 0,01	2,15 ± 0,02
34,72	2,18 ± 0,02	2,21 ± 0,01	2,23 ± 0,02	2,22 ± 0,01	2,20 ± 0,02
43,40	2,21 ± 0,02	2,24 ± 0,01	2,26 ± 0,02	2,26 ± 0,01	2,23 ± 0,02
52,08	2,24 ± 0,02	2,27 ± 0,01	2,29 ± 0,02	2,29 ± 0,01	2,26 ± 0,02
60,76	2,27 ± 0,02	2,29 ± 0,01	2,31 ± 0,02	2,31 ± 0,01	2,28 ± 0,02
69,44	2,29 ± 0,02	2,31 ± 0,01	2,33 ± 0,02	2,33 ± 0,01	2,30 ± 0,02
78,13	2,31 ± 0,02	2,33 ± 0,01	2,35 ± 0,02	2,34 ± 0,01	2,32 ± 0,02
86,81	2,33 ± 0,02	2,34 ± 0,02	2,36 ± 0,01	2,35 ± 0,01	2,33 ± 0,02
95,49	2,34 ± 0,02	2,36 ± 0,02	2,38 ± 0,01	2,37 ± 0,01	2,35 ± 0,01
104,17	2,35 ± 0,01	2,37 ± 0,02	2,39 ± 0,01	2,38 ± 0,01	2,36 ± 0,01
112,85	2,37 ± 0,01	2,38 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,39 ± 0,01	2,38 ± 0,01
121,53	2,38 ± 0,01	2,39 ± 0,01	2,41 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,39 ± 0,01
130,21	2,39 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,41 ± 0,01	2,40 ± 0,01
138,89	2,40 ± 0,01	2,41 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,40 ± 0,01
147,57	2,41 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,41 ± 0,01
156,25	2,42 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,44 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,42 ± 0,01
164,93	2,43 ± 0,01	2,44 ± 0,01	2,45 ± 0,01	2,44 ± 0,01	2,43 ± 0,01
173,61	2,43 ± 0,01	2,45 ± 0,01	2,46 ± 0,01	2,45 ± 0,01	2,44 ± 0,01

¹ p - lisovací tlak



Obr.3.25: Srovnání závislostí $G.D_{AKT}$ na lisovacím tlaku povlakovaných granulátů a granulátu panenského (9922F)

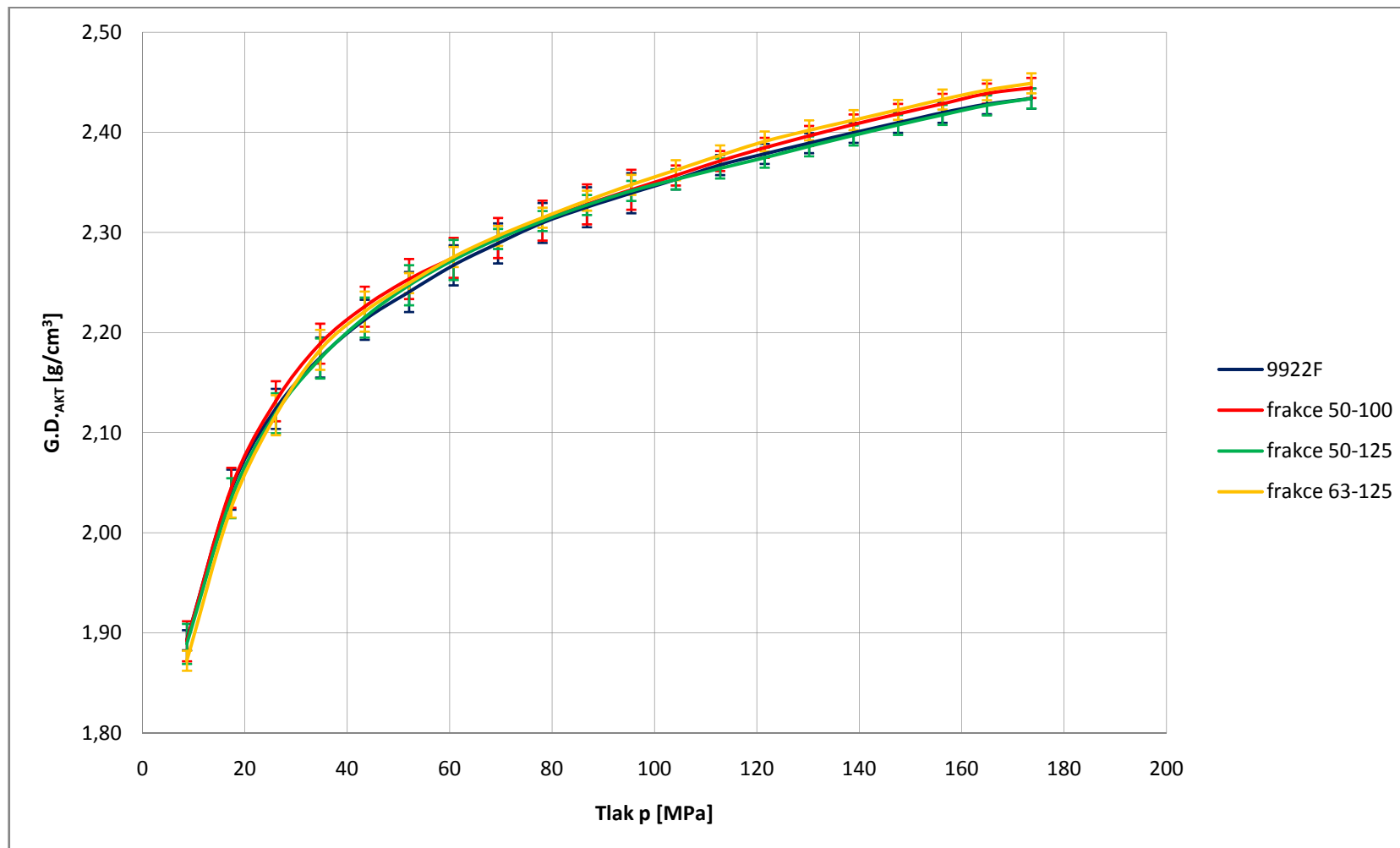


Obr.3.26: Srovnání závislostí $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku povlakovaných granulátů a granulátu panenského (9922F)

Tab. 3.8: Závislosti $G.D_{AKT}$ na lisovacím tlaku odsítovaných frakcí keramického granulátu NM9922F

p^1 [MPa] [MPa]	Zelená hustota $G.D_{AKT}$ [g/cm ³]			
	č.1 – NM9922F	č.6 – frakce 50-100	č.7 – frakce 50-125	č.8 – frakce 63-125
0,00	1,10 ± 0,01	1,09 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,08 ± 0,01
8,68	1,89 ± 0,01	1,89 ± 0,02	1,89 ± 0,02	1,87 ± 0,01
17,36	2,04 ± 0,02	2,04 ± 0,02	2,03 ± 0,02	2,03 ± 0,01
26,04	2,12 ± 0,02	2,13 ± 0,02	2,12 ± 0,02	2,12 ± 0,02
34,72	2,18 ± 0,02	2,19 ± 0,02	2,17 ± 0,02	2,18 ± 0,02
43,40	2,21 ± 0,02	2,23 ± 0,02	2,22 ± 0,02	2,22 ± 0,02
52,08	2,24 ± 0,02	2,25 ± 0,02	2,25 ± 0,02	2,25 ± 0,01
60,76	2,27 ± 0,02	2,27 ± 0,02	2,27 ± 0,02	2,28 ± 0,01
69,44	2,29 ± 0,02	2,29 ± 0,02	2,29 ± 0,01	2,30 ± 0,01
78,13	2,31 ± 0,02	2,31 ± 0,02	2,31 ± 0,01	2,31 ± 0,01
86,81	2,33 ± 0,02	2,33 ± 0,02	2,33 ± 0,01	2,33 ± 0,01
95,49	2,34 ± 0,02	2,34 ± 0,02	2,34 ± 0,01	2,35 ± 0,01
104,17	2,35 ± 0,01	2,36 ± 0,01	2,35 ± 0,01	2,36 ± 0,01
112,85	2,37 ± 0,01	2,37 ± 0,01	2,36 ± 0,01	2,38 ± 0,01
121,53	2,38 ± 0,01	2,38 ± 0,01	2,37 ± 0,01	2,39 ± 0,01
130,21	2,39 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,39 ± 0,01	2,40 ± 0,01
138,89	2,40 ± 0,01	2,41 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,41 ± 0,01
147,57	2,41 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,41 ± 0,01	2,42 ± 0,01
156,25	2,42 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,43 ± 0,01
164,93	2,43 ± 0,01	2,44 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,44 ± 0,01
173,61	2,43 ± 0,01	2,44 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,45 ± 0,01

¹ p - lisovací tlak

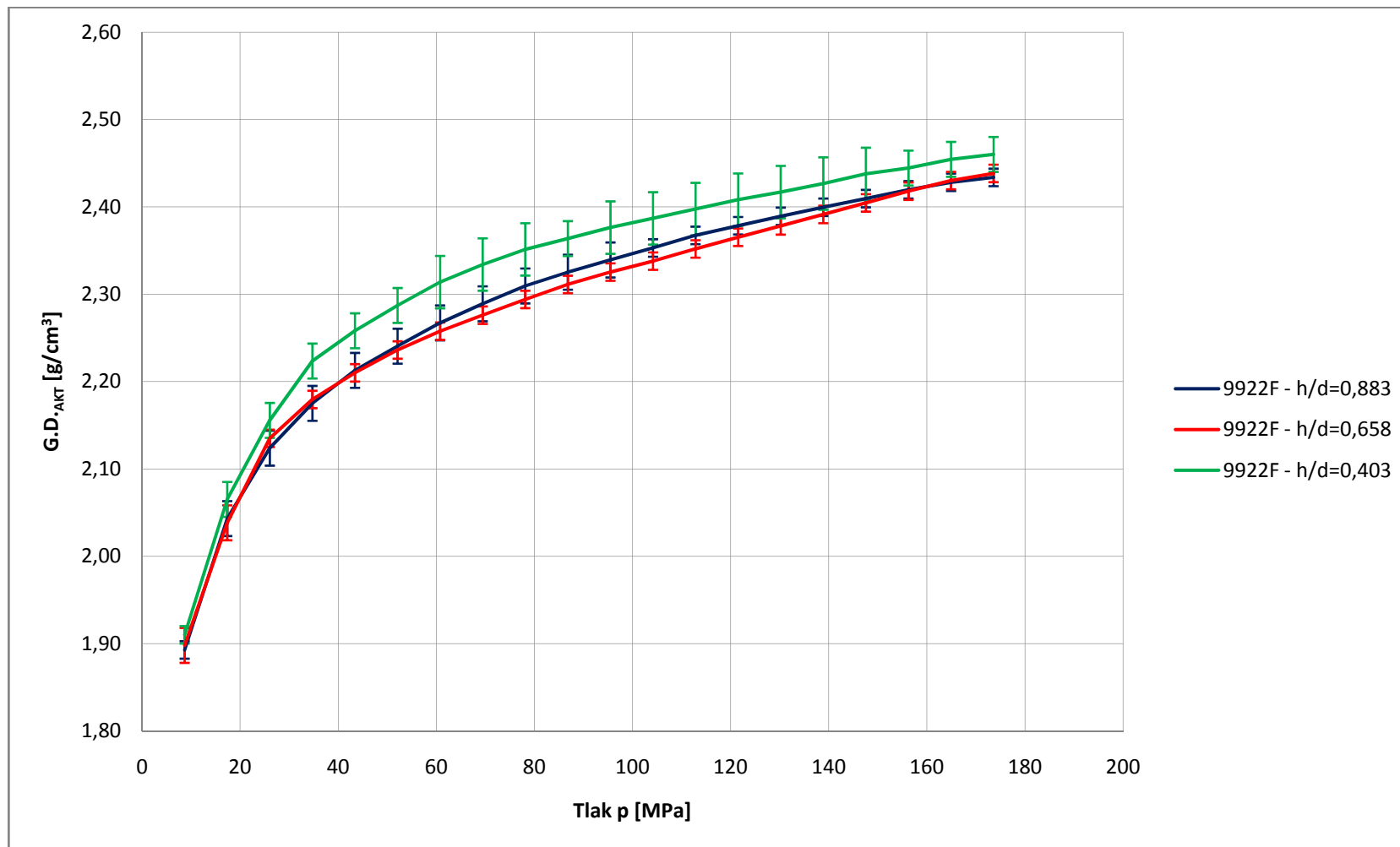


Obr.3.27: Srovnání závislostí $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku odsítovaných frakcí

Tab. 3.9: Závislosti $G.D_{AKT}$ na lisovacím tlaku granulátu NM9922F lisovaného při
různém poměru h/d

P^1 [MPa]	Zelená hustota $G.D_{AKT}$ [g/cm ³]		
	č.1 – NM9922F ($h/d=0,883$)	č.9 – NM9922F ($h/d=0,658$)	č.10 – NM9922F ($h/d=0,403$)
0,00	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,01
8,68	1,89 ± 0,01	1,90 ± 0,02	1,91 ± 0,01
17,36	2,04 ± 0,02	2,04 ± 0,02	2,07 ± 0,02
26,04	2,12 ± 0,02	2,14 ± 0,01	2,16 ± 0,02
34,72	2,18 ± 0,02	2,18 ± 0,01	2,22 ± 0,02
43,40	2,21 ± 0,02	2,21 ± 0,01	2,26 ± 0,02
52,08	2,24 ± 0,02	2,24 ± 0,01	2,29 ± 0,02
60,76	2,27 ± 0,02	2,26 ± 0,01	2,31 ± 0,03
69,44	2,29 ± 0,02	2,28 ± 0,01	2,33 ± 0,03
78,13	2,31 ± 0,02	2,29 ± 0,01	2,35 ± 0,33
86,81	2,33 ± 0,02	2,31 ± 0,01	2,36 ± 0,02
95,49	2,34 ± 0,02	2,33 ± 0,01	2,38 ± 0,03
104,17	2,35 ± 0,01	2,34 ± 0,01	2,39 ± 0,03
112,85	2,37 ± 0,01	2,35 ± 0,01	2,40 ± 0,03
121,53	2,38 ± 0,01	2,37 ± 0,01	2,41 ± 0,03
130,21	2,39 ± 0,01	2,38 ± 0,01	2,42 ± 0,03
138,89	2,40 ± 0,01	2,39 ± 0,01	2,43 ± 0,03
147,57	2,41 ± 0,01	2,40 ± 0,01	2,44 ± 0,03
156,25	2,42 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,44 ± 0,02
164,93	2,43 ± 0,01	2,43 ± 0,01	2,45 ± 0,02
173,61	2,43 ± 0,01	2,44 ± 0,01	2,46 ± 0,02

¹ p - lisovací tlak



Obr.3.28: Srovnání závislostí $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku granulátu NM9922F (různé poměry h/d)

Všechny nalisované vzorky byly po vylisování vypáleny při teplotě 1575°C po dobu jedné hodiny. Následně u těchto vzorků byla zjištěna hustota po výpalu *F.D.* pomocí váhy na zjištění objemové hmotnosti METTLER AG6204. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze č.25.

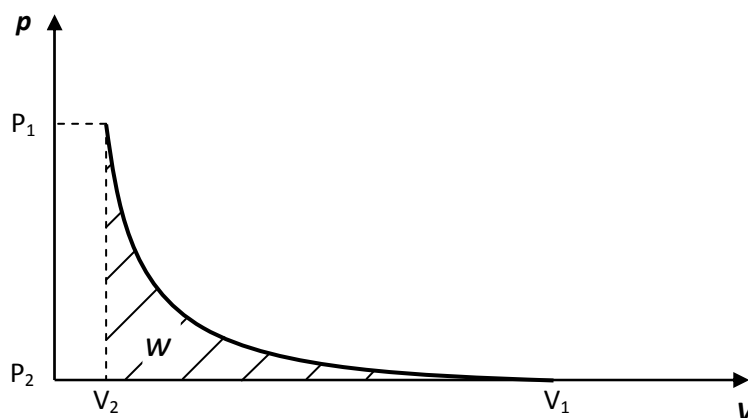
V tab. 3.10 jsou shrnuty zjištěné hodnoty hustot u sledovaných keramických granulátů.

Tab. 3.10: Naměřené hodnoty *L.D.*, *G.D.* a *F.D.*

Vzorek	Sypná hustota <i>L.D.</i>	Zelená hustota <i>G.D.</i>	Hustota po výpalu <i>F.D.</i>
č.1 - 9922F (<i>h/d</i> = 0,883)	1,10 ± 0,01	2,33 ± 0,01	3,874 ± 0,003
č.2 - 8434	1,19 ± 0,01	2,34 ± 0,01	3,859 ± 0,005
č.3 - 8435	1,19 ± 0,01	2,35 ± 0,01	3,868 ± 0,003
č.4 - 8430	1,16 ± 0,01	2,34 ± 0,01	3,871 ± 0,004
č.5 - 8426	1,15 ± 0,01	2,34 ± 0,01	3,867 ± 0,001
č.6 - 9922F - frakce 50 - 100	1,09 ± 0,01	2,33 ± 0,01	3,860 ± 0,004
č.7 - 9922F - frakce 50 - 125	1,10 ± 0,01	2,32 ± 0,01	3,862 ± 0,002
č.8 - 9922F - frakce 63 - 125	1,08 ± 0,01	2,33 ± 0,01	3,860 ± 0,002
č.9 - 9922F (<i>h/d</i> = 0,663)	1,10 ± 0,01	2,34 ± 0,01	3,885 ± 0,003
č.10 - 9922F (<i>h/d</i> = 0,405)	1,10 ± 0,01	2,34 ± 0,02	3,899 ± 0,004

Ze závislosti lisovacího tlaku na objemu vzorku byla spočtena objemová práce potřebná na vylisování vzorku konstantním tlakem – v našem případě 174 MPa. Při výpočtu došlo k zavedení zjednodušujícího předpokladu. Tím bylo rovnoměrné šíření tlaku v lisovaném vzorku. Po zavedení tohoto předpokladu lze potřebnou objemovou práci ke stlačení vzorku spočítat následovně:

$$w = - \int_{V_1}^{V_2} p.dV \quad (3.4)$$

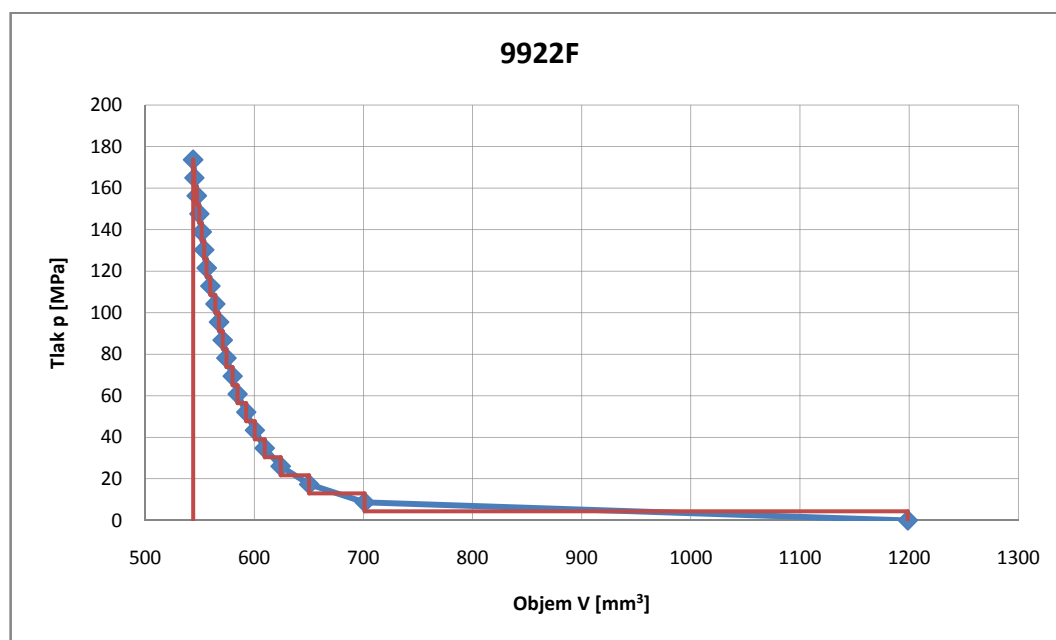


Obr. 3.29: Grafické znázornění objemové práce

Hodnoty objemové práce získané přibližným výpočtem jsou uvedeny v tab. 3.11. Příklad závislosti tlaku p a objemu V je uveden na obr. 3.30.

Tab. 3.11: Vypočtené objemové práce

Vzorek	Objemová práce W [J]	Změna [%]
č.1 - NM9922F ($h/d = 0,883$)	$9,15 \pm 0,13$	0
č.2 - 8434	$8,88 \pm 0,05$	-2,95
č.3 - 8435	$8,53 \pm 0,04$	-6,78
č.4 - 8430	$8,45 \pm 0,06$	-7,65
č.5 - 8426	$8,99 \pm 0,31$	-1,75
č.6 - NM9922F - frakce 50 - 100	$9,27 \pm 0,15$	1,31
č.7 - NM9922F - frakce 50 - 125	$9,19 \pm 0,18$	0,44
č.8 - NM9922F - frakce 63 - 125	$9,44 \pm 0,09$	3,17



Obr. 3.30: Příklad závislosti lisovací tlak – objem vzorku

3.3.4 Vyhodnocení experimentu

Z naměřených hodnot a výsledků provedeného experimentu lze stanovit tyto dílčí závěry:

- 1, Povlakování vede ke zvýšení sytné hustoty $L.D$.
- 2, U Povlakovaných granulátů byla detekována úspora objemové práce.
- 3, U odsítovaných frakcí (50-100 μm , 50-125 μm , 63-125 μm) nedochází k úspoře objemové práce W .

3.4 Stanovení závislosti pórovitosti na lisovacím tlaku

Cílem experimentu bylo stanovení závislosti pórovitosti keramických vzorků na lisovacím tlaku. Kromě toho bylo snahou ukázat vzájemnou souvislost pórovitosti a mechanických vlastností.

3.4.1 Postup měření

Ke stanovení pórovitosti bylo nalisováno 5 vzorků při rozdílných tlacích (35, 70, 105, 140 a 175 MPa). Tyto vzorky byly následně vypáleny, vybroušeny a vyleštěny. Poté u nich byla pořízena dokumentace pomocí optického mikroskopu, určen plošný počet pórů a zjištěna tvrdost.

Tab. 3.12: Vzorky k určení pórovitosti

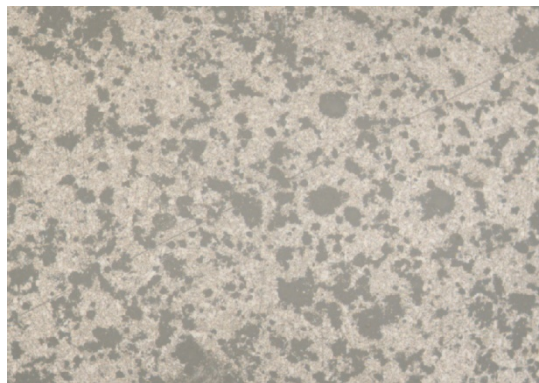
Vzorek č.	Lisovací tlak [MPa]	G.D. [g/cm ³]	F.D. [g/cm ³]
1	35	2,10	3,763
2	70	2,19	3,817
3	105	2,27	3,848
4	140	2,30	3,865
5	175	2,32	3,876

3.4.2 Naměřené hodnoty

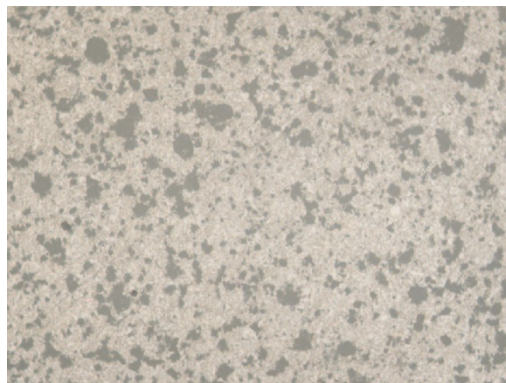
Pokles pórovitosti se snižujícím se tlakem lisování je na zkušebních vzorcích patrný i bez zvětšení. To je vidět na obr. 3.31. Na obr. 3.32 – 3.36 je vidět struktura vzorků při zvětšení 100 x. Zjištěné hodnoty pórovitosti a tvrdosti jsou v tab. 3.13 a 3.14.



Obr. 3.31: Vzorky ke zjištění pórovitosti



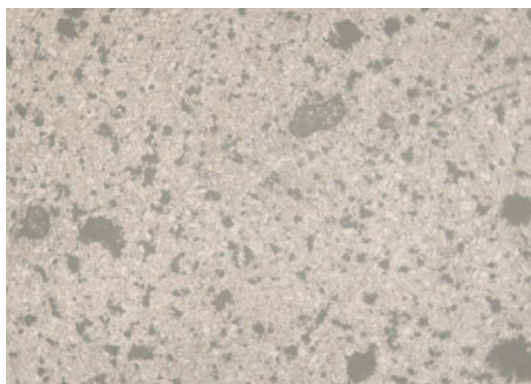
Obr. 3.32: Vzorek č.1



Obr. 3.33: Vzorek č.2



Obr. 3.34: Vzorek č.3



Obr. 3.35: Vzorek č.4



Obr. 3.36: Vzorek č.5

Tab. 3.13: Naměřené hodnoty tvrdosti

Vzorek	Naměřená tvrdost				
č. 1	1650	1650	1560	1600	1600
	1700	1650	1600	1650	1600
č. 2	1700	1650	1700	1760	1760
	1760	1700	1760	1760	1700
č. 3	1810	1810	1810	1810	1760
	1810	1760	1810	1810	1810
č. 4	1810	1810	1870	1930	1810
	1870	1810	1810	1870	1810
č. 5	1870	1810	1870	1870	1870
	1930	1810	1870	1930	1810

Tab. 3.14: Hodnoty pórovitosti¹ a tvrdosti

Vzorek č.	Lisovací tlak p [MPa]	Pórovitost [%]	Tvrdost HV1
1	35	32,5	1626 ± 29
2	70	25,1	1725 ± 29
3	105	19,7	1800 ± 16
4	140	15,5	1840 ± 31
5	175	13,5	1864 ± 32

3.4.3 Vyhodnocení experimentu

Z naměřených hodnot a výsledků provedeného experimentu lze stanovit tyto dílčí závěry:

1, Se zvyšujícím se lisujícím tlakem dochází ke snížení pórovitosti a zvýšení mechanických vlastností.²

¹ Pórovitost zde vyjadřuje plošný podíl pórů vzhledem k celkové ploše vzorku.

² S klesající pórovitostí rostou užité vlastnosti výrobku. V určitých aplikacích je potřeba dosáhnout optimální pórovitosti, kdy póry slouží jako nosič přídavné látky, nebo snižují adhezní síly.

4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Výsledky zjištěné v rámci experimentální části přinesly informace o lisování keramického granulátu NM9922F firmy Nabaltec. Hlavním cílem bylo porovnání panenského granulátu NM9922F s granuláty povlakovanými pomocí přídavku lubrikantů firmy Zschimmer & Schwarz.

Povlakování použitého keramického granulátu vedlo ke zvýšení sypné hustoty $L.D.$ Nejvýraznější zvýšení je patrné u granulátů povlakovaných lubrikanty KP 9112 a O 44.

Tab. 4.1: Sypné hustoty povlakovaných granulátů

Označení granulátu	Mazadlo	Množství [%]	Sypná hustota $L.D.$ [g/cm^3]
NM9922F	---	---	$1,10 \pm 0,01$
8434	KP 9112	1,00%	$1,19 \pm 0,01$
8435	O 44	1,00%	$1,19 \pm 0,01$
8430	O 76	1,00%	$1,16 \pm 0,01$
8426	O 76	0,50%	$1,15 \pm 0,01$

Z výsledků závislosti $G.D.$ na lisovacím tlaku p (tab.3.3, obr.3.9) je zřejmé, že nebyl prokázán vliv povlakování na zvýšení $G.D.$ oproti panenskému granulátu.

Vliv povlakování byl naopak prokázán u $F.D.$ a lineárního smrštění (obr. 3.10 a 3.11). Tyto hodnoty byly sledovány stejně jako $G.D.$ v rozmezí lisovacích tlaků 0 – 185 MPa. Ke zvýšení $F.D.$ oproti panenskému granulátu došlo pouze u granulátu 8430. Ten dosahuje v rozmezí tlaků 105 – 185 MPa stejných hodnot $F.D.$ jako granulát panenský. Pod hodnotou lisovacího tlaku 105 MPa je pak dosažená hodnota $F.D.$ vyšší než u granulátu panenského. Ostatní povlakované granuláty nevedly ke zvýšení $F.D.$

Snížení lineárního smrštění oproti panenskému granulátu bylo zjištěno u všech povlakovaných granulátů. Zlepšení v celém rozsahu lisovacích tlaků bylo detekováno u granulátů 8434 a 8430. U granulátů 8435 a 8426 pak bylo zlepšení patrné v rozsahu tlaků 0 - 80 MPa.

K přesnějšímu určení vlivu lisovacího tlaku p na hodnoty $G.D.$, $F.D.$ a lineárního smrštění by bylo potřeba nalisování většího počtu zkušebních vzorků tak, aby došlo ke zpřesnění získaných výsledků a snížení krajních chyb těchto hodnot.

Při sledování závislosti aktuální $G.D.$ v dutině formy na lisovacím tlaku (kap. 3.3) bylo u povlakovaných granulátů detekováno zvýšení $G.D._{AKT}$ oproti granulátu panenskému (viz. obr. 3.25 – obr. 3.26). Tento nárůst je nejvýraznější u granulátu 8435, u kterého nastává zvýšení $G.D._{AKT}$ v celém rozsahu sledovaných tlaků (0 – 175 MPa). Výraznější zvýšení je patrné i u granulátu 8430, u něhož je $G.D._{AKT}$ vyšší než u panenského granulátu až do tlaku 140 MPa. Nad tímto tlakem dochází k překrývání krajních chyb hodnot $G.D._{AKT}$ těchto dvou granulátů, a tedy není možné s jistotou tvrdit, že $G.D._{AKT}$ povlakovaného granulátu je nad tímto tlakem vyšší než $G.D._{AKT}$ granulátu panenského. U granulátu 8434 je zvýšení $G.D._{AKT}$ patrné pouze do tlaku 60 MPa, u granulátu 8426 do tlaku 20 MPa.

Ze získané závislosti - lisovací tlak x stlačení (aktuální $G.D.$) byla spočtena objemová práce potřebná ke stlačení na stálý tlak (175 MPa). Tato práce je uvedena v tab. 3.11. Mimo to byla vypočtena práce potřebná k vy lisování vzorku z panenského granulátu tlakem 100 MPa (běžný lisovací tlak). Ta vyšla 6,5 J. U povlakovaných granulátů byl spočítán tlak, na který by bylo možné vzorek stlačit právě prací 6,5 J a následně došlo aproximací ke zjištění $F.D.$, která by vznikla po výpalu takového vzorku. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.2.

Tab. 4.2: Tabulka aproximovaných tlaků a FD

Keramický granulát	NM9922F	8434	8435	8430	8426
w [J]	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
p [MPa]	100,00	109,10	111,07	114,19	106,50
F.D. [g/cm ³]	3,836	3,835	3,837	3,854	3,829

Z uvedených úvah je jasné, že z hlediska dosažené hustoty $F.D.$ a úspory práce během lisování je nejlepší granulát 8430. Ostatní povlakované granuláty sice vedou k úspoře objemové práce (mimo 8426), nikoliv však ke zvýšení $F.D.$

Kromě povlakovaných granulátů byly stejné závislosti sledovány u tří odsítovaných frakcí (50-100 μm , 50–125 μm a 63–125 μm). K jejich odsítování došlo na základě výsledků provedeného granulometrického rozboru (kap. 3.1.1).

U odsítovaných frakcí nebyla oproti panenskému granulátu detekována ani změna *G.D.* (tab. 3.4, obr. 3.12), ani lineárního smrštění (obr. 3.14). Naopak byla detekována změna *F.D.* (obr. 3.13). U odsítované frakce 50-100 μm došlo oproti panenskému granulátu k poklesu *F.D.* U frakcí 50-125 μm a 63-125 μm byl zjištěn vzrůst *F.D.*, ke kterému dochází v rozmezí tlaků 0 – 80 MPa. V oboru tlaků 80 – 140 MPa zůstává *F.D.* těchto frakcí a panenského granulátu stejná (dochází k průniku okrajových chyb naměřených hodnot). Nad lisovacím tlakem 140 MPa je pak *F.D.* vyšší u panenského granulátu.

Obdobně jako u povlakovaných granulátů byla i u odsítovaných frakcí ze získané závislosti - lisovací tlak \times stlačení (aktuální *G.D.*) spočtena objemová práce, potřebná ke stlačení na stálý tlak (175 MPa). Tato práce je uvedena v tab. 3.11. Mimo toho byly aproximací opět spočteny hodnoty tlaku p a *F.D.*, na které by bylo možné vzorek vylisovat prací 6,5 J (práce potřebná pro vylisování panenského granulátu tlakem 100 MPa).

Tab. 4.3: Tabulka aproximovaných tlaků a *FD*

Keramický granulát	9922F	frakce 50-100	frakce 50-125	frakce 63-125
w [J]	6,50	6,50	6,50	6,50
p [MPa]	100,00	101,81	99,28	95,35
F.D. [g/cm^3]	3,836	3,832	3,841	3,840

U odsítovaných frakcí nebylo prokázáno zlepšení *G.D.* Zlepšení *F.D.* nastalo pouze v oboru tlaků 0 - 80 MPa (běžný lisovací tlak \sim 100 MPa). Zároveň nedošlo ke snížení lineárního smrštění, ani objemové práce. Praktické využití takového granulátu tedy postrádá při běžném lisovacím tlaku smysl.

U panenského granulátu byly kromě doposud popsaných měření sledovány také změny závislostí, které nastanou při změně poměru výšky dutiny formy h k průměru dutiny formy d . Původní poměr $h/d = 0,883$ byl změněn pomocí vyrobeného ocelového mezikruží (obr. 3.7) na hodnoty $h/d = 0,658$ a $0,403$.

Z výsledků uvedených v tab. 3.5 a na obr. 3.15 – 3.17 je zřejmé, že s klesajícím poměrem h/d dochází k předpokládanému růstu $F.D.$ a $G.D._{AKT}$.

5. ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena do dvou základních částí: teoretické a experimentální. Teoretická část se zabývá popisem problematiky lisování keramických granulátů. Ve stěžejní experimentální části byl z hlediska lisovatelnosti prověřen keramický granulát NM9922F firmy Nabaltec, upravený různými typy aditiv firmy Zschimmer & Schwarz. Mimo to byly sledovány změny lisovatelnosti u odsítovaných frakcí 50 – 100 μm , 50 – 125 μm a 63 – 125 μm panenského granulátu a při změně lisovací výšky dutiny formy.

Z výsledků experimentů provedených v rámci diplomové práce je možné stanovit několik závěrů:

1, Z porovnávaných lubrikantů je nejvhodnější využití 1 % lubrikantu O 76 (granulát 8430). Při využití tohoto lubrikantu dochází k úspoře objemové práce W . Kromě úspory objemové práce bylo detekováno zvýšení $F.D.$, k němuž dochází v rozmezí lisovacích tlaků 0 – 105 MPa. Nad tímto lisovacím tlakem jsou dosažené hodnoty $F.D.$ srovnatelné s panenským granulátem. U ostatních povlakovaných granulátů dochází k úspoře objemové práce, ale dosažené hodnoty $F.D.$ nejsou vyšší než u granulátu panenského.

Povlakování vedlo dále ke snížení lineárního smrštění. V celém rozsahu tlaků došlo oproti panenskému granulátu k poklesu lineárního smrštění u granulátů 8434 (1 % lubrikantu KP 9112) a 8430 (1 % lubrikantu O 76). U granulátů 8426 (0,5 % lubrikantu O 76) a 8435 (1 % lubrikantu O 44) je snížení lineárního smrštění patrné do tlaku 80 MPa.

2, U zvolených odsítovaných frakcí panenského granulátu nebyla zjištěna úspora objemové práce W . Naopak došlo k jejímu zvýšení u frakce 63 – 125 μm . U frakce 50 – 100 μm dochází v celém rozsahu tlaků k poklesu $F.D.$ U frakcí 50 – 125 a 63 – 125 μm bylo detekováno zvýšení $F.D.$ oproti granulátu panenskému v oboru tlaků 0 – 80 MPa. Žádné difference nebyly prokázány mezi panenským granulátem a odsítovanými frakcemi ve sledované závislosti lisovací tlak \times lineární smrštění. Při běžném lisovacím tlaku tedy postrádá využití zvolených odsítovaných frakcí praktický smysl.

3, Při změně poměru hloubky dutiny h k průměru dutiny d lisovací formy byla prokázána souvislost mezi snižováním poměru h/d ($0,866 \rightarrow 0,658 \rightarrow 0,403$) a zvyšováním dosažených hodnot $F.D.$ a aktuální $G.D.$ v dutině lisovací formy.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HANYKÝŘ, Vladimír, KUTZENDÖRFER, Jaroslav. *Technologie keramiky*. 2. vyd. Praha : Silikátový svaz, 2008. 387 s. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [2] HERAINOVÁ, Marcela. *Keramické suroviny a jejich úpravy*. 1. vyd. Praha : Silikátový svaz, 2002. 53 s. ISBN 80-903113-2-6.
- [3] HERAINOVÁ, Marcela. *Příprava pracovních směsí a tvarování keramických výrobků*. Praha : Silikátový svaz, 2003. 41 s. ISBN 80-903113-8-5.
- [4] HERAINOVÁ, Marcela. *Sušení a výpal*. Praha : Silikátový svaz, 2008. 55 s. ISBN 978-80-86821-47-4.
- [5] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. Praha : SNTL, 1988. 516 s.
- [6] KRATOCHVÍL, Bohumil, ŠVOŘÍK, Václav, VOJTĚCH, Dalibor. *Úvod do studia materiálů*. Praha : [s.n.], 2005. 190 s. ISBN 80-7080-568-4.
- [7] KRAUS, V. *Tepelné zpracování a slinování*. [s.l.], [2000?]. 226 s. Západočeská univerzita v Plzni. Přednáška. Dostupný z WWW: <<http://tzs.kmm.zcu.cz/tepel.htm>>.
- [8] MACHOTSKÝ, L, BURIANOVÁ, L, ČMELÍK, M. *Fyzikální laboratoře*. Liberec : TUL, 2004. 84 s. ISBN 80-7083-796-9.
- [9] SLIVKA, Vladimír. *Těžba a úprava silikátových surovin*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 2002. 443 s. ISBN 80-903113-0-X.
- [10] ŠAŠEK, Ladislav, et al. *Laboratorní metody v oboru silikátů*. Praha : SNTL, 1981. 319 s.
- [11] TIŠNOVSKÝ, Miroslav. *Lisování keramiky*. [s.l.] : SNTL Praha, 1964. 138 s.
- [12] VALENTA, Ladislav. *Keramická příručka*. 2. upr. vyd. [s.l.] : Silikátový svaz, 2007. 417 s. ISBN 978-80-86821-46-7.
- [13] *Výroba hliníku* [online]. [cit. 2009-02-20]. Dostupný z WWW: <http://www.stefanmichna.com/download/technicke_materialy_II/vyroba_hliniku.pdf>.

7. SEZNAM PŘÍLOH

- č. 1 - Keramický granulát GRANALOX NM 9922F – informace firmy Nabaltec
- č. 2 - Mazadlo O 44 – informace firmy Zschimmer & Schwarz
- č. 3 - Mazadlo O 76 – informace firmy Zschimmer & Schwarz
- č. 4 - Mazadlo KP 9112 – informace firmy Zschimmer & Schwarz
- č. 5 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – NM9922F
- č. 6 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – 8434
- č. 7 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – 8435
- č. 8 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – 8430
- č. 9 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – 8426
- č. 10 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – NM9922F – frakce 50 – 100
- č. 11 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – NM9922F – frakce 50 – 125
- č. 12 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – NM9922F – frakce 63– 125
- č. 13 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – NM9922F – poměr $h/d = 0,658$
- č. 14 - Naměřené výsledky – zjištění G.D., F.D. – NM9922F – poměr $h/d = 0,403$
- č. 15 - Naměřené výsledky – průběh lisování – NM9922F
- č. 16 - Naměřené výsledky – průběh lisování – 8434
- č. 17 - Naměřené výsledky – průběh lisování – 8435
- č. 18 - Naměřené výsledky – průběh lisování – 8426
- č. 19 - Naměřené výsledky – průběh lisování – 8430
- č. 20 - Naměřené výsledky – průběh lisování – NM9922F – frakce 50 - 100
- č. 21 - Naměřené výsledky – průběh lisování – NM9922F – frakce 50 - 125
- č. 22 - Naměřené výsledky – průběh lisování – NM9922F – frakce 63 – 125
- č. 23 - Naměřené výsledky – průběh lisování – NM9922F – poměr $h/d = 0,658$
- č. 24 - Naměřené výsledky – průběh lisování – NM9922F – poměr $h/d = 0,403$
- č. 25 - Naměřené hodnoty po výpalu – vzorky z průběhu lisování

Volné přílohy:

- č. 1 - Výkres sestavy lisu firmy SAINT-GOBAIN – č. výkresu S06000703-0
- č. 2 - Výkres sestavy vyrobeného lisu – č. výkresu S06000703-00
- č. 3 - Výrobní výkres – těleso – č. výkresu S06000703 - 7
- č. 4 - Výrobní výkres – šroub – č. výkresu S06000703 - 8
- č. 5 - Výrobní výkres – matice – č. výkresu S06000703 - 9
- č. 6 - Výrobní výkres – spojka – č. výkresu S06000703 – 10
- č. 7 - Výrobní výkres – držák – č. výkresu S06000703 – 11
- č. 8 - Výrobní výkres – deska – č. výkresu S06000703 – 12
- č. 9 - Výrobní výkres – nákrůžek – č. výkresu S06000703 – 13
- č. 10 - Výrobní výkres – podpěrná deska – č. výkresu S06000703 – 14
- č. 11 - Výrobní výkres – pomocná deska – č. výkresu S06000703 – 15
- č. 12 - Výrobní výkres – nákrůžek – č. výkresu S06000703 – 19
- č. 13 - Výrobní výkres – opěrka – č. výkresu S06000703 – 20

Příloha č. 1

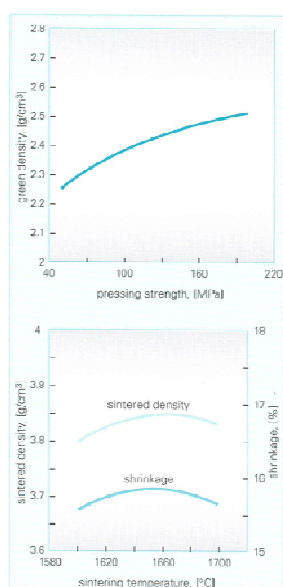
Series NM 98/99

GRANALOX®

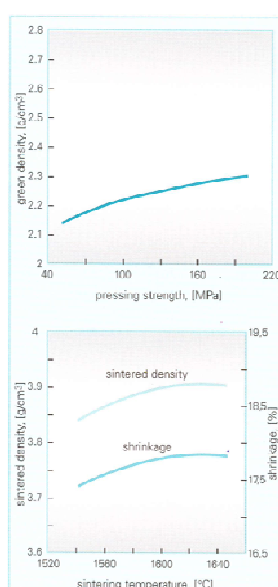
Chemical analysis	Unit	NM 9816	NM 9923	NM 9922	NM 9922 I
Al ₂ O ₃	[%]	98	99	99.7	99.7
Na ₂ O	[%]	0.1	0.1	0.1	0.1
Physical analysis					
Median grain size diameter	[µm]	180 - 230	180 - 230	160 - 200	50 - 80
Bulk density	[kg/m³]	1200 - 1350	1250 - 1350	1150 - 1250	1000 - 1100
Moisture content	[%]	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3
Loss on ignition ¹⁾	[%]	4.5	3.0	3.0	4.5
Processing characteristics					
Sintering temperature	[°C]	1650	1750	1600	1600
Dwell time	[h]	2	1.5		2
Sintering interval (dense ceramic parts)	[°C]	1600 - 1700	1700 - 1800	1550 - 1700	1550 - 1700
Sintered density	[g/cm³]	3.78 - 3.85	3.82 - 3.90	3.86 - 3.92	3.88 - 3.92
Isotropic linear shrinkage (with respect to green body)	[%]	15.0 - 16.0	15.5 - 16.5	17.0 - 18.0	17.0 - 18.0

¹⁾ RT - maximum sintering temperature

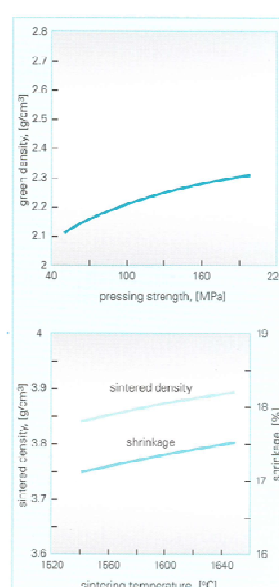
NM 9816



NM 9922



NM 9922 I



Příloha č. 2

ZUSOPLAST O 44

Pressing and lubricating agent

Chemical basis:

Low-hazardous hydrocarbons

Characteristics:

Appearance:	yellow liquid
Solubility:	water-insoluble
Density (20 °C):	approx. 0.80 g/cm ³
Residue on ignition:	max. 0.1 %
Viscosity (20 °C):	approx. 5 mPas

Safety data:

Labelling according to EC directives: Xn – Harmful

Shelf-life / Packaging:

12 months if stored under proper conditions

drums of 20, 150 and 750 kg

Application:

ZUSOPLAST O 44 is used as a plasticizing agent like normal moulding oils. It has proved itself in particular for electrical ceramic bodies.

The additive is also used as a separating agent when pressing ceramic products in steel and resin moulds. The effect depends on the production of a lubricating layer between the raw material particles and between the body and the mould wall. The resulting reduction in friction permits a longer working life for moulds and dies.

Depending on the body composition and the complexity of the pressed or extruded part, ZUSOPLAST O 44 should be added at 0.5 - 5.0%.

In contrast to conventional separating oils the precise products of combustion of ZUSOPLAST O 44 can be predicted on account of its defined composition. The product decomposes without residue

to CO₂ and H₂O in the oxidizing atmosphere of the kiln.

Hence it pollutes the environment significantly less on account of the low emissions. The contents of pollutants, such as sulphur, benzene, xylene and toluene, are below the detection limits.

The odour produced during the production process is also considerably less than for conventional separating oils.

The above results have been obtained from trials in our laboratory and plant. In the light of changing conditions they can serve only as a guide and are therefore offered without obligation. We ask you to observe the possible rights of third parties.

Issued: 24. November 2008



Příloha č. 3

ZUSOPLAST O 76



Release agent

Chemical basis:

Low-hazardous hydrocarbons

Characteristics:

Appearance:	yellow liquid
Solubility:	water-insoluble
Density (20 °C):	approx. 0.82 g/cm ³
Residue on ignition:	max. 0.1 %
Viscosity (20 °C):	approx. 5 mPas

Safety data:

Labelling according to EC directives: Xn – Harmful

Shelf-life / Packaging:

12 months if stored under proper conditions

drums of 20, 150 and 780 kg

Application:

ZUSOPLAST O 76 is used as separating agent in steel and resin moulds. The effect depends on the production of a lubricating layer between the body and the mould wall. The reduction in friction which this brings about, permits a longer working life for the moulds.

Depending on the body composition and the complexity of the pressed or extruded part, ZUSOPLAST O 76 is added at 0.5 - 5.0 %.

In contrast to conventional separating oils, the precise products of combustion of ZUSOPLAST O 76 can be predicted on account of its defined composition. The product decomposes without residue

to CO₂ and H₂O in the oxidizing atmosphere of the kiln. Hence, it pollutes the environment significantly less, on account of the low emissions. The content contents of pollutants, such as sulphur, benzene, xylene and toluene, are below the detection limits.

The odour produced during the production process is also considerably less than for conventional separating oils.

The above results have been obtained from trials in our laboratory and plant. In the light of changing conditions they can serve only as a guide and are therefore offered without obligation. We ask you to observe the possible rights of third parties.

Issued: 24. November 2008



Příloha č. 4

PRODUKT KP 9112

Pressing and lubricating agent

Chemical basis:

Preparation of wetting agents

Characteristics:

Appearance:	colourless liquid Active
Solubility:	water-miscible
Density (20 °C):	approx. 1,25 g/cm ³
Residue on ignition:	max. 0.1 %
Viscosity (20 °C):	pprox. 1300 mPas

Safety data:

Labelling according to EC Directives: not relevant

Shelf-life / Packaging:

12 months under proper conditions

drums of 30 and 150

Application:

PRODUKT KP 9112 is a pressing and lubricating agent, which is particularly suitable for the application in aqueous extrusion mixes. The use of PRODUKT KP 9112 can increase the lubricating ability of the mix and reduce the friction between the body and the machine components.

PRODUKT KP 9112 has surface active properties and therefore allows an easier and more homogeneous incorporation of the batch components into the batch. Thanks to its special composition, PRODUKT KP 9112 acts as a wetting agent and hence is suitable for the use in drying-sensitive products. In these products, PRODUKT KP 9112 permits a slower and more even drying of the bodies, thus avoiding the formation of drying cracks.

Usual addition quantities range between 0.5 and 3.0% PRODUKT KP 9112, related to the solids content of the body.

PRODUKT KP 9112 can also be used as a softening agent for various organic binders (e. g. those based on PVA). This facilitates the crushing of prepared granules in the subsequent pressing procedure, hence minimizing the integral structures in the pressed part. For this application sector, the general addition quantity of PRODUKT KP 9112 ranges between 10 and 20 %, related to the amount of binder.

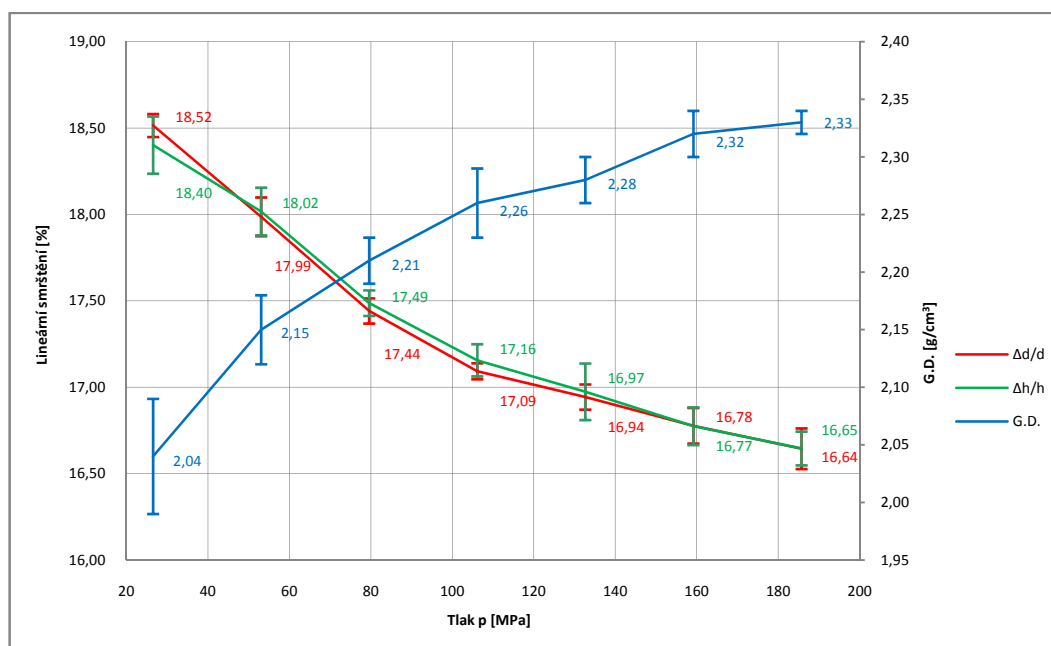
The above results have been obtained from trials in our laboratory and plant. In the light of changing conditions they can serve only as a guide and are therefore offered without obligation. We ask you to observe the possible rights of third parties.

Issued: 09. June 2008

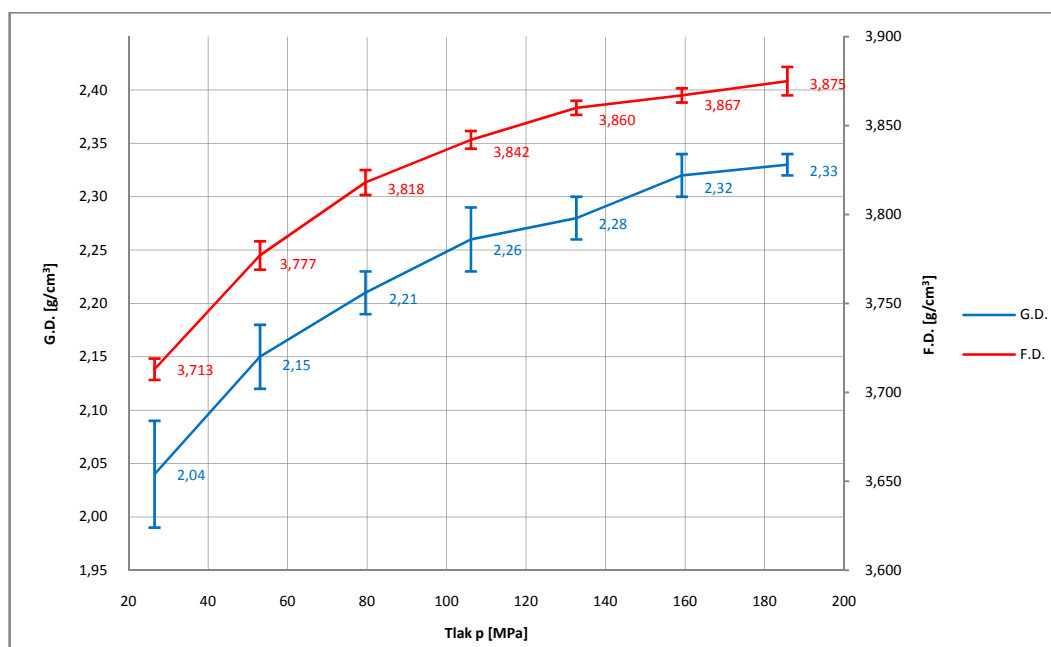


Vzorky č.1 - NM 9922F (h/d = 0,883) - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,66	12,05	1,30	2,01	5,67	12,05	1,29	2,00	5,60	12,04	1,32	2,07
53,05	5,34	12,04	1,31	2,15	5,31	12,04	1,29	2,13	5,37	12,05	1,31	2,14
79,58	5,14	12,04	1,29	2,20	5,14	12,04	1,30	2,22	5,12	12,04	1,28	2,20
106,11	5,05	12,04	1,29	2,24	5,03	12,04	1,29	2,25	5,05	12,04	1,29	2,24
132,63	4,97	12,04	1,29	2,28	5,02	12,04	1,30	2,27	4,95	12,04	1,28	2,27
159,16	4,94	12,04	1,31	2,33	4,95	12,04	1,30	2,31	4,92	12,04	1,29	2,30
185,69	4,87	12,04	1,29	2,33	4,88	12,04	1,30	2,34	4,92	12,04	1,30	2,32
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,55	12,04	1,31	2,07	5,56	12,04	1,29	2,04				
53,05	5,30	12,04	1,31	2,17	5,32	12,04	1,29	2,13				
79,58	5,20	12,04	1,30	2,20	5,19	12,04	1,31	2,22				
106,11	5,04	12,04	1,29	2,25	5,01	12,04	1,31	2,30				
132,63	4,98	12,04	1,31	2,31	5,00	12,04	1,29	2,27				
159,16	4,90	12,04	1,29	2,31	4,91	12,04	1,30	2,33				
185,69	4,89	12,04	1,30	2,34	4,89	12,04	1,30	2,34				
Vzorky č.1 - NM9922F (h/d = 0,883) - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,62	9,81	1,25	3,711	4,62	9,82	1,25	3,717	4,57	9,82	1,24	3,715
53,05	4,37	9,88	1,25	3,775	4,36	9,89	1,25	3,783	4,40	9,87	1,25	3,769
79,58	4,24	9,95	1,24	3,824	4,24	9,94	1,24	3,820	4,23	9,94	1,24	3,818
106,11	4,18	9,98	1,24	3,847	4,17	9,98	1,24	3,841	4,18	9,99	1,24	3,838
132,63	4,13	10,00	1,24	3,862	4,17	10,01	1,25	3,861	4,11	10,00	1,23	3,860
159,16	4,11	10,03	1,25	3,871	4,12	10,03	1,25	3,866	4,10	10,01	1,23	3,863
185,69	4,06	10,05	1,24	3,865	4,07	10,04	1,25	3,876	4,10	10,04	1,25	3,872
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,54	9,81	1,23	3,716	4,53	9,81	1,24	3,705				
53,05	4,35	9,87	1,25	3,782	4,36	9,87	1,25	3,778				
79,58	4,29	9,93	1,26	3,820	4,28	9,94	1,25	3,808				
106,11	4,18	9,98	1,24	3,838	4,15	9,98	1,24	3,846				
132,63	4,14	10,00	1,25	3,862	4,14	9,99	1,25	3,856				
159,16	4,08	10,02	1,23	3,871	4,08	10,01	1,23	3,866				
185,69	4,07	10,03	1,24	3,880	4,08	10,02	1,23	3,881				

Tab. 7.1: Naměřené hodnoty – NM9922F



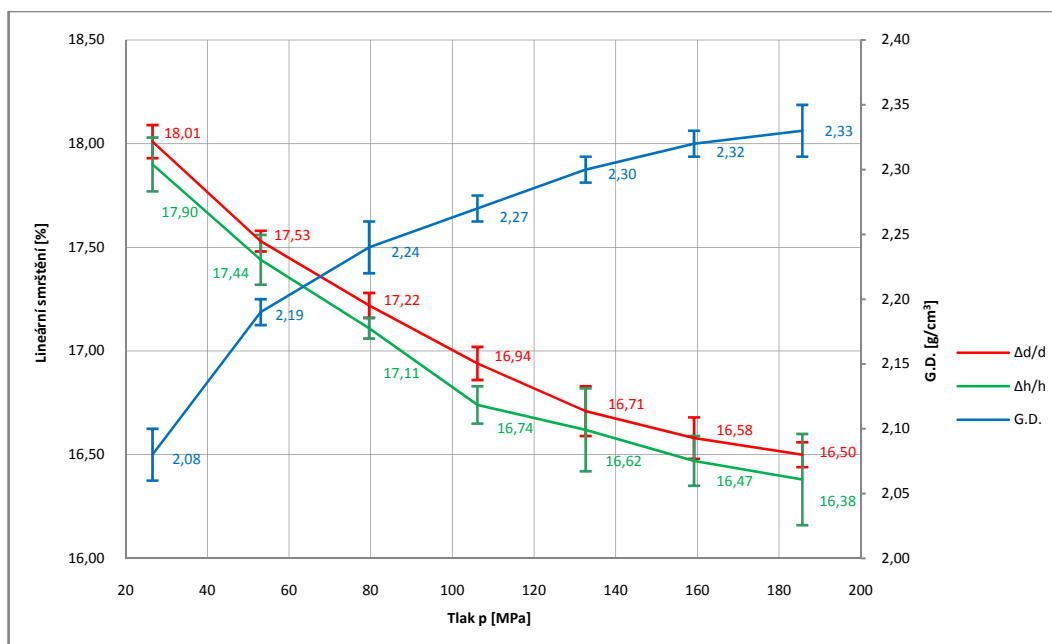
Obr. 7.1: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku – NM9922F



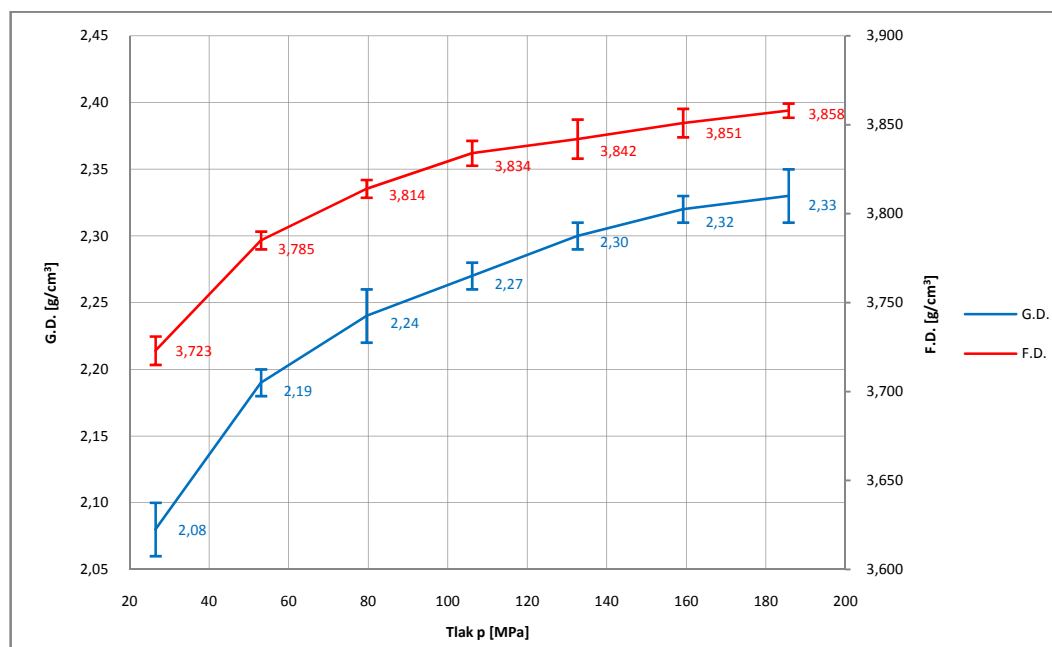
Obr. 7.2: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – NM9922F

Vzorky č.2 - 8434 - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,82	12,05	1,38	2,08	5,85	12,05	1,38	2,07	5,80	12,05	1,38	2,09
53,05	5,52	12,05	1,38	2,19	5,53	12,05	1,38	2,19	5,59	12,05	1,39	2,18
79,58	5,45	12,05	1,38	2,22	5,48	12,04	1,39	2,23	5,49	12,05	1,40	2,24
106,11	5,40	12,04	1,40	2,28	5,33	12,04	1,38	2,27	5,37	12,04	1,39	2,27
132,63	5,34	12,04	1,40	2,30	5,26	12,04	1,38	2,30	5,28	12,04	1,38	2,30
159,16	5,31	12,04	1,41	2,33	5,33	12,04	1,41	2,32	5,33	12,04	1,41	2,32
185,69	5,20	12,04	1,39	2,35	5,22	12,04	1,39	2,34	5,26	12,04	1,39	2,32
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,93	12,05	1,41	2,09	5,87	12,05	1,40	2,09				
53,05	5,59	12,04	1,39	2,18	5,59	12,05	1,39	2,18				
79,58	5,44	12,04	1,40	2,26	5,56	12,05	1,42	2,24				
106,11	5,33	12,04	1,38	2,27	5,33	12,04	1,38	2,27				
132,63	5,43	12,04	1,42	2,30	5,34	12,04	1,39	2,29				
159,16	5,26	12,04	1,39	2,32	5,31	12,04	1,40	2,32				
185,69	5,21	12,04	1,38	2,33	5,18	12,04	1,38	2,34				
Vzorky č.2 - 8434 - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,78	9,88	1,31	3,729	4,81	9,88	1,31	3,723	4,76	9,88	1,31	3,726
53,05	4,56	9,93	1,31	3,785	4,56	9,94	1,31	3,787	4,61	9,94	1,33	3,785
79,58	4,52	9,98	1,33	3,814	4,54	9,97	1,31	3,811	4,55	9,97	1,34	3,812
106,11	4,49	10,01	1,32	3,831	4,44	10,00	1,32	3,831	4,47	10,00	1,36	3,842
132,63	4,45	10,03	1,34	3,828	4,40	10,01	1,31	3,844	4,40	10,03	1,32	3,844
159,16	4,44	10,05	1,34	3,844	4,45	10,03	1,34	3,853	4,45	10,04	1,34	3,848
185,69	4,35	10,05	1,34	3,857	4,35	10,06	1,34	3,856	4,40	10,05	1,32	3,858
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,86	9,87	1,34	3,724	4,82	9,89	1,32	3,714				
53,05	4,62	9,93	1,33	3,780	4,62	9,94	1,33	3,788				
79,58	4,51	9,97	1,32	3,819	4,61	9,97	1,36	3,813				
106,11	4,44	10,00	1,32	3,830	4,44	9,99	1,32	3,835				
132,63	4,52	10,04	1,33	3,842	4,45	10,03	1,33	3,850				
159,16	4,40	10,05	1,33	3,858	4,43	10,05	1,34	3,853				
185,69	4,36	10,05	1,32	3,862	4,34	10,06	1,32	3,858				

Tab. 7.2: Naměřené hodnoty – 8434



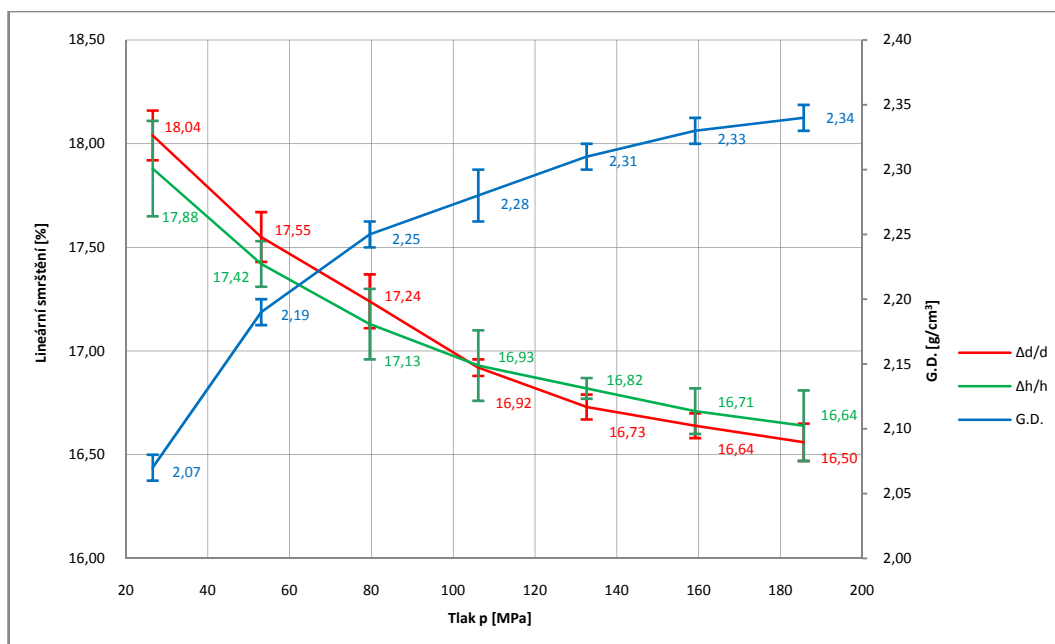
Obr. 7.3: Závislost lineárneho smrštení a G.D. na lisovacom tlaku – 8434



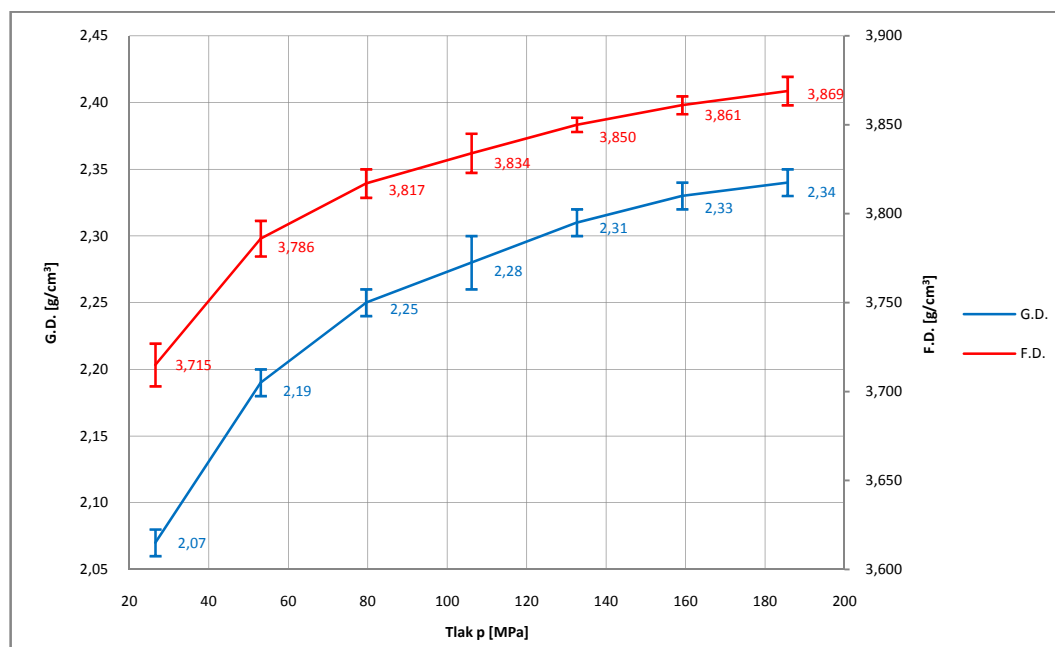
Obr. 7.4: Závislost G.D. a F.D. na lisovacom tlaku – 8434

Vzorky č.3 - 8435 - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,98	12,06	1,42	2,08	5,92	12,06	1,40	2,07	5,87	12,07	1,39	2,07
53,05	5,59	12,06	1,40	2,19	5,61	12,05	1,40	2,19	5,53	12,06	1,38	2,18
79,58	5,43	12,06	1,40	2,26	5,46	12,05	1,40	2,25	5,48	12,05	1,41	2,26
106,11	5,40	12,04	1,40	2,28	5,39	12,04	1,40	2,28	5,42	12,05	1,40	2,27
132,63	5,35	12,04	1,41	2,31	5,41	12,04	1,43	2,32	5,40	12,03	1,42	2,31
159,16	5,37	12,04	1,42	2,32	5,30	12,04	1,41	2,34	5,31	12,04	1,41	2,33
185,69	5,35	12,04	1,42	2,33	5,29	12,04	1,41	2,34	5,35	12,04	1,42	2,33
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,83	12,07	1,38	2,07	5,88	12,06	1,39	2,07				
53,05	5,54	12,06	1,39	2,20	5,63	12,06	1,41	2,19				
79,58	5,48	12,06	1,41	2,25	5,53	12,05	1,42	2,25				
106,11	5,41	12,05	1,40	2,27	5,37	12,05	1,40	2,29				
132,63	5,34	12,03	1,40	2,31	5,37	12,04	1,41	2,31				
159,16	5,30	12,04	1,41	2,34	5,29	12,04	1,41	2,34				
185,69	5,23	12,03	1,39	2,34	5,23	12,04	1,40	2,35				
Vzorky č.3 - 8435 - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,92	9,87	1,34	3,700	4,85	9,89	1,33	3,715	4,82	9,89	1,33	3,721
53,05	4,62	9,93	1,34	3,786	4,63	9,95	1,33	3,798	4,56	9,94	1,32	3,779
79,58	4,49	9,97	1,33	3,825	4,53	9,97	1,35	3,814	4,54	9,99	1,33	3,813
106,11	4,48	10,01	1,34	3,843	4,47	10,00	1,34	3,840	4,50	10,01	1,34	3,831
132,63	4,45	10,02	1,35	3,848	4,50	10,02	1,36	3,850	4,49	10,02	1,34	3,848
159,16	4,47	10,03	1,34	3,859	4,41	10,03	1,33	3,861	4,42	10,04	1,33	3,856
185,69	4,46	10,05	1,36	3,878	4,42	10,04	1,34	3,864	4,46	10,04	1,33	3,865
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,80	9,89	1,32	3,714	4,82	9,90	1,33	3,723				
53,05	4,58	9,94	1,34	3,780	4,65	9,95	1,32	3,787				
79,58	4,55	9,97	1,34	3,812	4,58	9,98	1,33	3,819				
106,11	4,50	10,01	1,33	3,830	4,47	10,01	1,33	3,824				
132,63	4,44	10,02	1,34	3,853	4,47	10,03	1,36	3,851				
159,16	4,42	10,04	1,34	3,864	4,41	10,04	1,34	3,863				
185,69	4,35	10,05	1,33	3,868	4,36	10,04	1,35	3,872				

Tab. 7.3: Naměřené hodnoty – 8435



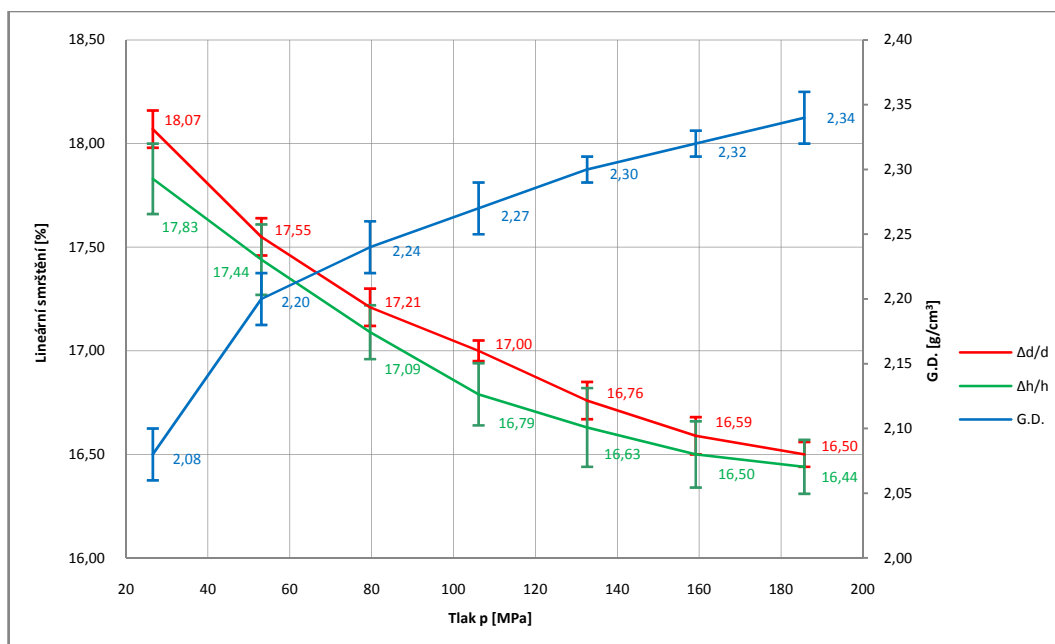
Obr. 7.5: Závislosť lineárneho smrštení a G.D. na lisovacom tlaku – 8435



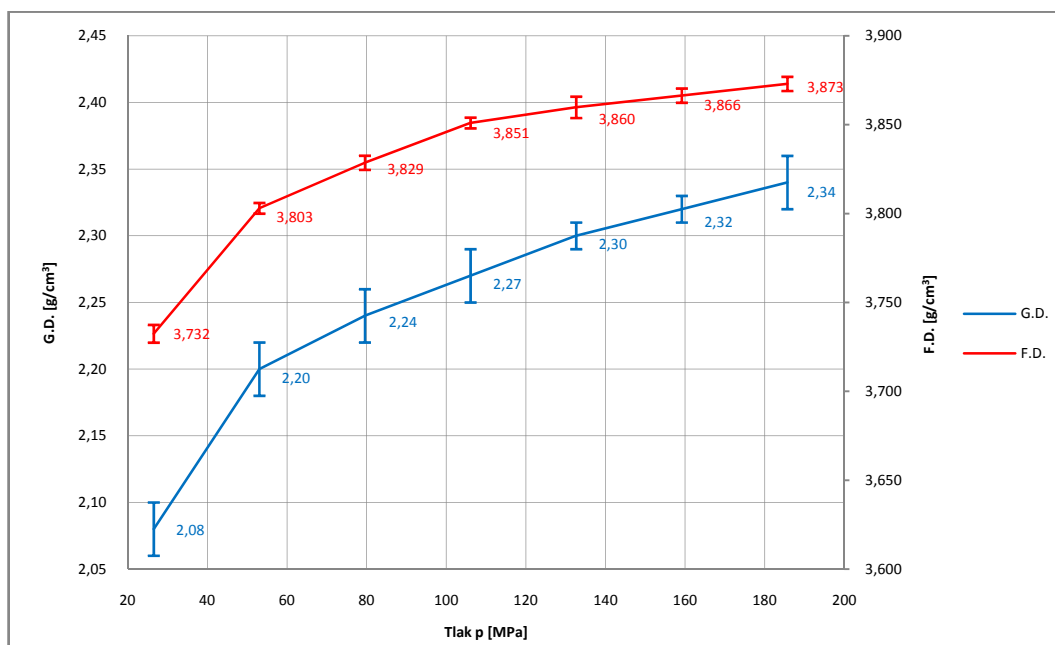
Obr. 7.6: Závislosť G.D. a F.D. na lisovacom tlaku – 8435

Vzorky č.4 - 8430 - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,76	12,05	1,37	2,09	5,75	12,05	1,37	2,09	5,76	12,06	1,37	2,08
53,05	5,39	12,05	1,36	2,21	5,46	12,05	1,37	2,20	5,47	12,06	1,37	2,19
79,58	5,31	12,05	1,36	2,25	5,29	12,05	1,36	2,25	5,44	12,04	1,38	2,23
106,11	5,28	12,05	1,36	2,26	5,25	12,05	1,36	2,27	5,30	12,04	1,38	2,29
132,63	5,22	12,05	1,37	2,30	5,22	12,04	1,37	2,31	5,20	12,04	1,36	2,30
159,16	5,20	12,04	1,38	2,33	5,16	12,04	1,36	2,32	5,18	12,04	1,37	2,32
185,69	5,21	12,04	1,39	2,34	5,20	12,03	1,39	2,35	5,15	12,04	1,38	2,35
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,77	12,06	1,37	2,08	5,85	12,06	1,38	2,07				
53,05	5,54	12,05	1,38	2,18	5,43	12,06	1,36	2,19				
79,58	5,36	12,05	1,37	2,24	5,40	12,05	1,38	2,24				
106,11	5,36	12,04	1,39	2,28	5,25	12,05	1,36	2,27				
132,63	5,21	12,04	1,37	2,31	5,19	12,04	1,36	2,30				
159,16	5,14	12,04	1,36	2,32	5,20	12,04	1,38	2,33				
185,69	5,15	12,04	1,37	2,34	5,20	12,03	1,38	2,33				
Vzorky č.4 - 8430 - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,74	9,87	1,30	3,731	4,73	9,88	1,30	3,735	4,73	9,89	1,30	3,730
53,05	4,46	9,94	1,29	3,803	4,50	9,93	1,30	3,801	4,52	9,95	1,31	3,802
79,58	4,41	9,97	1,30	3,825	4,38	9,98	1,29	3,831	4,51	9,98	1,33	3,830
106,11	4,40	10,00	1,30	3,849	4,37	10,00	1,30	3,854	4,41	9,99	1,31	3,853
132,63	4,36	10,02	1,30	3,861	4,34	10,02	1,31	3,866	4,34	10,02	1,30	3,862
159,16	4,34	10,04	1,31	3,871	4,30	10,03	1,30	3,867	4,33	10,05	1,30	3,868
185,69	4,35	10,06	1,32	3,878	4,35	10,04	1,32	3,869	4,30	10,05	1,31	3,871
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,73	9,87	1,30	3,729	4,81	9,88	1,33	3,737				
53,05	4,57	9,94	1,32	3,803	4,48	9,93	1,29	3,806				
79,58	4,44	9,97	1,32	3,826	4,48	9,97	1,32	3,831				
106,11	4,45	10,00	1,33	3,849	4,37	10,00	1,30	3,850				
132,63	4,34	10,03	1,30	3,854	4,33	10,03	1,30	3,856				
159,16	4,30	10,04	1,30	3,862	4,34	10,05	1,32	3,864				
185,69	4,31	10,05	1,30	3,875	4,34	10,05	1,32	3,872				

Tab. 7.4: Naměřené hodnoty – 8430



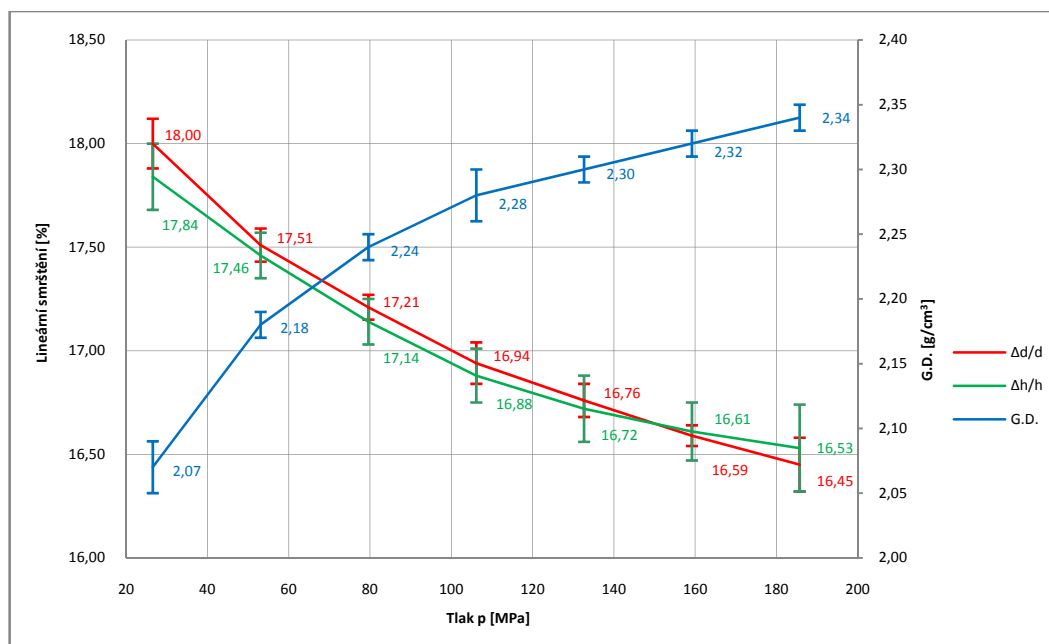
Obr. 7.7: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku – 8430



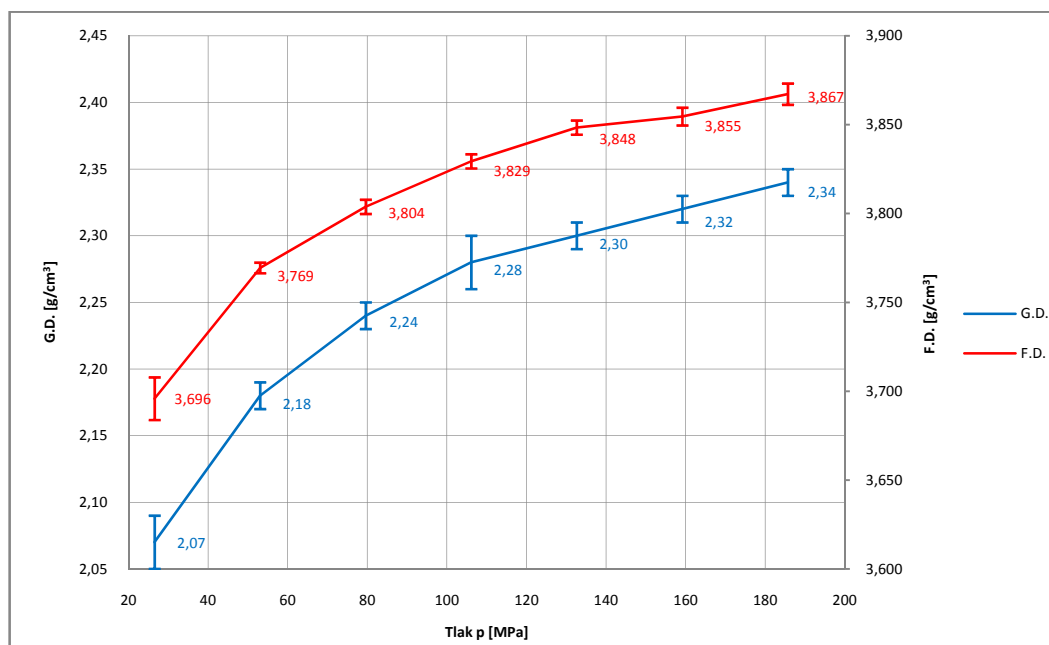
Obr. 7.8: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – 8430

Vzorky č.5 - 8426 - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,80	12,05	1,37	2,07	5,90	12,06	1,38	2,05	5,84	12,05	1,38	2,07
53,05	5,53	12,05	1,38	2,19	5,45	12,05	1,36	2,19	5,57	12,05	1,39	2,19
79,58	5,31	12,05	1,36	2,25	5,36	12,05	1,37	2,24	5,34	12,05	1,36	2,23
106,11	5,32	12,05	1,38	2,27	5,35	12,05	1,38	2,26	5,21	12,04	1,35	2,28
132,63	5,23	12,04	1,37	2,30	5,19	12,05	1,37	2,31	5,24	12,04	1,37	2,30
159,16	5,20	12,04	1,38	2,33	5,16	12,04	1,37	2,33	5,20	12,04	1,37	2,31
185,69	5,14	12,04	1,37	2,34	5,10	12,04	1,36	2,34	5,08	12,04	1,36	2,35
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,82	12,06	1,38	2,08	5,73	12,05	1,36	2,08				
53,05	5,51	12,06	1,37	2,18	5,49	12,05	1,36	2,17				
79,58	5,35	12,05	1,37	2,25	5,42	12,05	1,38	2,23				
106,11	5,21	12,04	1,36	2,29	5,22	12,05	1,36	2,28				
132,63	5,19	12,05	1,36	2,30	5,17	12,04	1,36	2,31				
159,16	5,18	12,04	1,37	2,32	5,14	12,04	1,36	2,32				
185,69	5,09	12,04	1,36	2,35	5,18	12,04	1,38	2,34				
Vzorky č.5 - 8426 - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,77	9,88	1,30	3,698	4,84	9,87	1,31	3,682	4,79	9,89	1,31	3,704
53,05	4,57	9,94	1,32	3,770	4,50	9,94	1,29	3,769	4,59	9,95	1,32	3,767
79,58	4,40	9,97	1,29	3,803	4,44	9,98	1,31	3,801	4,42	9,97	1,30	3,805
106,11	4,43	10,01	1,32	3,830	4,44	10,00	1,32	3,829	4,33	10,01	1,28	3,832
132,63	4,35	10,02	1,31	3,846	4,33	10,02	1,31	3,847	4,37	10,03	1,31	3,849
159,16	4,33	10,05	1,31	3,849	4,31	10,04	1,30	3,855	4,33	10,04	1,31	3,856
185,69	4,29	10,06	1,31	3,867	4,27	10,05	1,30	3,868	4,23	10,06	1,29	3,871
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,79	9,89	1,31	3,692	4,71	9,89	1,29	3,703				
53,05	4,55	9,95	1,31	3,769	4,53	9,93	1,30	3,772				
79,58	4,44	9,98	1,30	3,802	4,49	9,98	1,32	3,808				
106,11	4,33	10,01	1,29	3,830	4,34	10,00	1,30	3,826				
132,63	4,32	10,03	1,30	3,848	4,30	10,03	1,29	3,852				
159,16	4,32	10,04	1,31	3,857	4,29	10,04	1,30	3,856				
185,69	4,25	10,05	1,32	3,860	4,32	10,08	1,29	3,870				

Tab. 7.5: Naměřené hodnoty – 8426



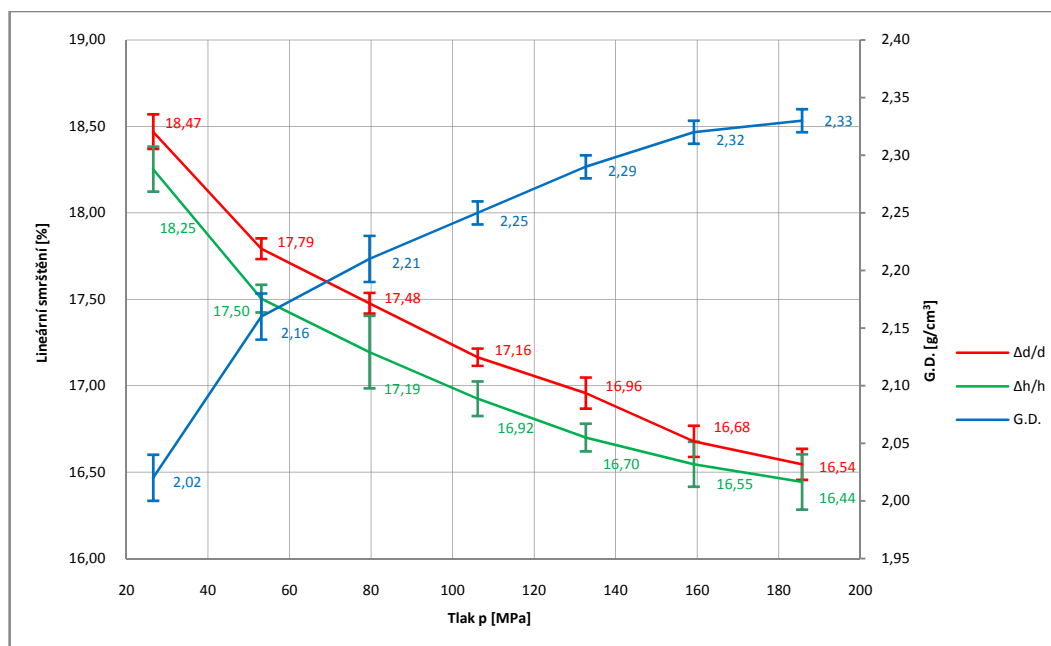
Obr. 7.9: Závislost lineárního smrštní a G.D. na lisovacím tlaku – 8426



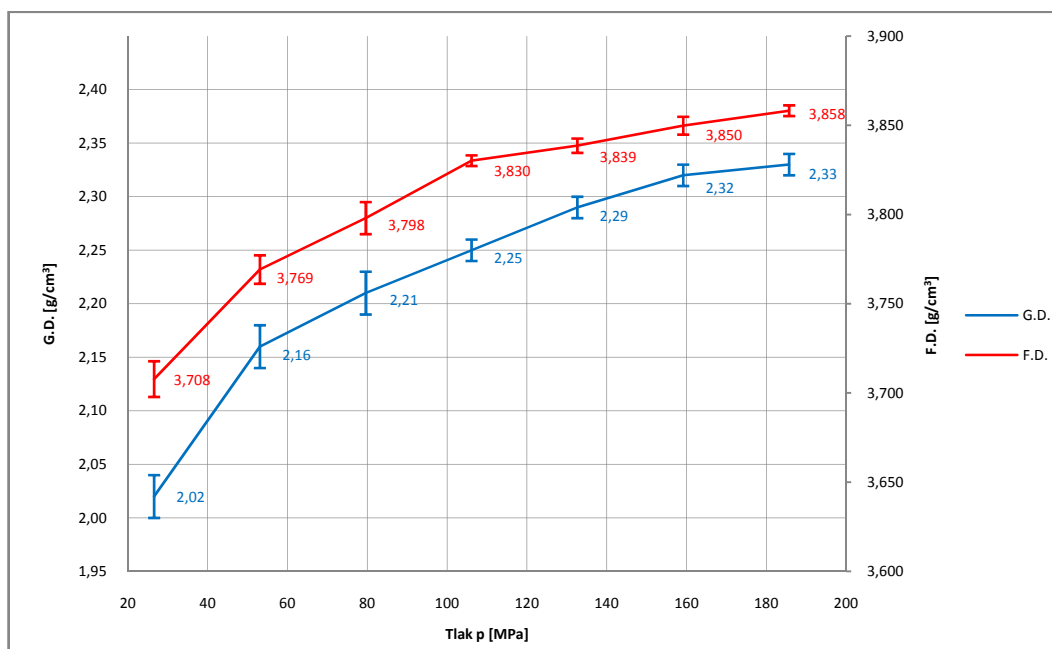
Obr. 7.10: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – 8426

Vzorky č.6 - NM9922F (frakce 50 - 100) - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D. ₋₁ [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D. ₋₂ [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D. ₋₃ [g/cm ³]
26,53	5,61	12,05	1,30	2,03	5,65	12,06	1,29	2,00	5,68	12,05	1,30	2,01
53,05	5,32	12,05	1,30	2,14	5,22	12,05	1,29	2,17	5,29	12,05	1,30	2,15
79,58	5,06	12,05	1,27	2,20	5,16	12,05	1,29	2,19	5,10	12,05	1,28	2,20
106,11	5,04	12,04	1,29	2,25	5,05	12,05	1,30	2,26	5,07	12,05	1,30	2,25
132,63	4,96	12,04	1,29	2,28	5,03	12,04	1,31	2,29	4,96	12,04	1,29	2,28
159,16	4,93	12,04	1,30	2,32	4,91	12,04	1,29	2,31	4,92	12,04	1,30	2,32
185,69	4,90	12,04	1,30	2,33	4,96	12,04	1,31	2,32	4,89	12,04	1,30	2,34
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D. ₋₄ [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D. ₋₅ [g/cm ³]				
26,53	5,61	12,05	1,30	2,03	5,61	12,05	1,30	2,03				
53,05	5,24	12,05	1,29	2,16	5,21	12,05	1,29	2,17				
79,58	5,16	12,05	1,30	2,21	5,05	12,05	1,28	2,22				
106,11	5,00	12,05	1,28	2,24	5,07	12,05	1,30	2,25				
132,63	5,02	12,05	1,31	2,29	4,94	12,04	1,29	2,29				
159,16	4,97	12,04	1,31	2,32	4,93	12,04	1,30	2,32				
185,69	4,90	12,04	1,30	2,33	4,92	12,04	1,30	2,32				
Vzorky č.6 - NM9922F (frakce 50 - 100) - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D. ₋₁ [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D. ₋₂ [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D. ₋₃ [g/cm ³]
26,53	4,59	9,84	1,25	3,714	4,62	9,83	1,24	3,709	4,65	9,82	1,25	3,715
53,05	4,39	9,91	1,25	3,761	4,31	9,91	1,23	3,770	4,36	9,90	1,24	3,768
79,58	4,19	9,95	1,23	3,797	4,26	9,94	1,24	3,788	4,23	9,94	1,23	3,799
106,11	4,19	9,97	1,24	3,832	4,20	9,99	1,25	3,831	4,21	9,98	1,24	3,830
132,63	4,13	9,99	1,24	3,841	4,19	9,99	1,25	3,839	4,13	10,00	1,24	3,837
159,16	4,11	10,03	1,24	3,849	4,10	10,04	1,24	3,851	4,10	10,03	1,24	3,849
185,69	4,09	10,04	1,24	3,856	4,14	10,04	1,26	3,857	4,09	10,05	1,24	3,858
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D. ₋₄ [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D. ₋₅ [g/cm ³]				
26,53	4,58	9,82	1,24	3,699	4,58	9,82	1,24	3,702				
53,05	4,32	9,90	1,23	3,770	4,30	9,91	1,23	3,777				
79,58	4,27	9,95	1,25	3,801	4,19	9,94	1,23	3,805				
106,11	4,15	9,98	1,23	3,830	4,21	9,98	1,25	3,828				
132,63	4,18	10,01	1,25	3,836	4,12	10,01	1,23	3,840				
159,16	4,15	10,02	1,25	3,846	4,12	10,04	1,24	3,854				
185,69	4,09	10,05	1,24	3,860	4,12	10,06	1,25	3,860				

Tab. 7.6: Naměřené hodnoty – frakce 50-100



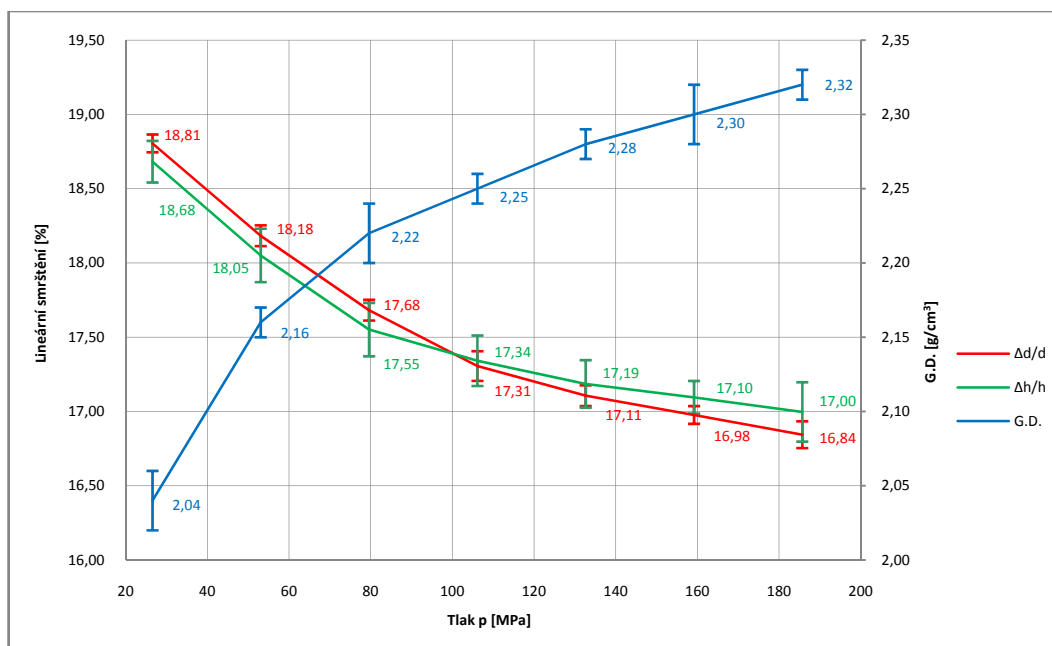
Obr. 7.11: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku – frakce 50-100



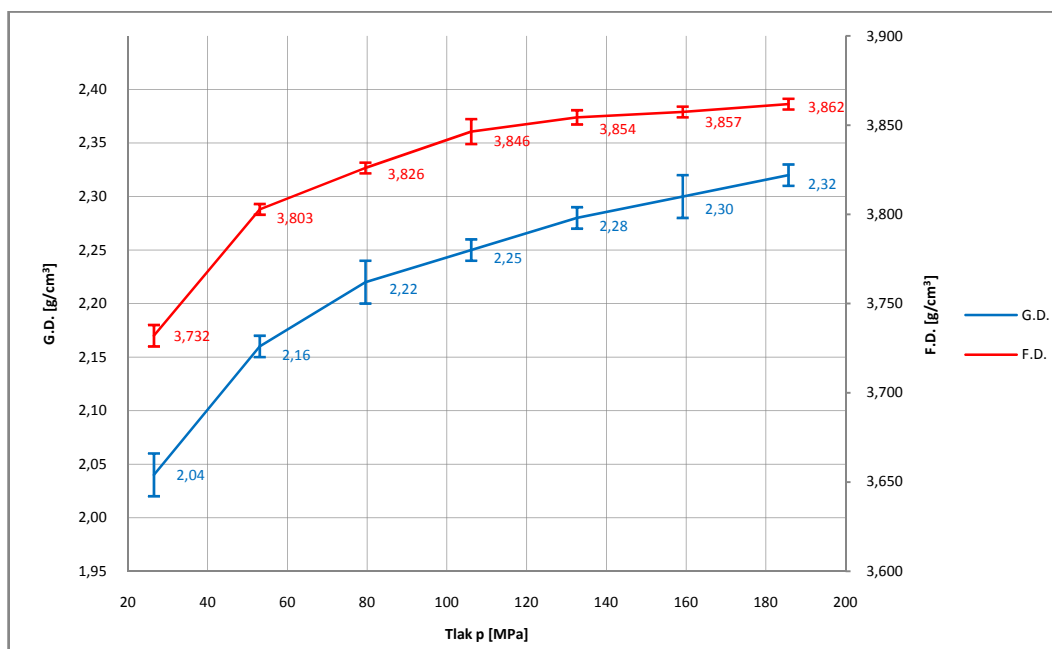
Obr. 7.12: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – frakce 50-100

Vzorky č.7 - NM9922F (frakce 50 - 125) - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,55	12,05	1,29	2,04	5,65	12,05	1,32	2,05	5,64	12,05	1,30	2,02
53,05	5,27	12,04	1,30	2,17	5,28	12,05	1,30	2,16	5,39	12,05	1,33	2,16
79,58	5,23	12,04	1,32	2,22	5,20	12,05	1,31	2,21	5,15	12,05	1,30	2,21
106,11	5,12	12,04	1,31	2,25	5,08	12,04	1,30	2,25	5,06	12,04	1,30	2,26
132,63	5,04	12,04	1,31	2,28	5,00	12,05	1,30	2,28	5,05	12,04	1,31	2,28
159,16	4,99	12,04	1,31	2,31	4,98	12,04	1,31	2,31	4,97	12,04	1,30	2,30
185,69	4,90	12,04	1,30	2,33	4,97	12,04	1,31	2,32	4,93	12,04	1,30	2,32
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,57	12,05	1,30	2,05	5,64	12,05	1,32	2,05				
53,05	5,24	12,04	1,29	2,16	5,30	12,04	1,31	2,17				
79,58	5,22	12,04	1,32	2,22	5,18	12,05	1,32	2,23				
106,11	5,06	12,05	1,30	2,25	5,11	12,04	1,31	2,25				
132,63	4,98	12,04	1,29	2,28	4,95	12,04	1,29	2,29				
159,16	4,94	12,04	1,29	2,29	4,98	12,04	1,31	2,31				
185,69	4,89	12,04	1,29	2,32	4,96	12,04	1,31	2,32				
Vzorky č.7 - NM9922F (frakce 50 - 125) - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,51	9,79	1,23	3,726	4,60	9,78	1,23	3,731	4,59	9,78	1,25	3,734
53,05	4,31	9,85	1,24	3,804	4,33	9,86	1,24	3,802	4,41	9,85	1,27	3,801
79,58	4,30	9,91	1,26	3,823	4,29	9,92	1,26	3,826	4,25	9,91	1,25	3,828
106,11	4,23	9,95	1,26	3,849	4,19	9,97	1,25	3,839	4,18	9,95	1,25	3,853
132,63	4,17	9,98	1,25	3,851	4,14	9,98	1,24	3,858	4,18	9,98	1,26	3,855
159,16	4,13	9,99	1,26	3,858	4,13	10,00	1,25	3,856	4,12	10,00	1,25	3,860
185,69	4,08	10,02	1,24	3,861	4,12	10,02	1,26	3,862	4,09	10,01	1,25	3,863
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,52	9,78	1,26	3,731	4,59	9,79	1,24	3,738				
53,05	4,30	9,86	1,23	3,803	4,35	9,85	1,25	3,804				
79,58	4,31	9,92	1,26	3,826	4,27	9,92	1,25	3,827				
106,11	4,19	9,96	1,25	3,845	4,23	9,96	1,25	3,846				
132,63	4,12	9,99	1,24	3,855	4,11	9,98	1,26	3,853				
159,16	4,10	10,00	1,24	3,857	4,13	9,99	1,25	3,856				
185,69	4,06	10,00	1,24	3,860	4,11	10,01	1,26	3,863				

Tab. 7.7: Naměřené hodnoty – frakce 50-125



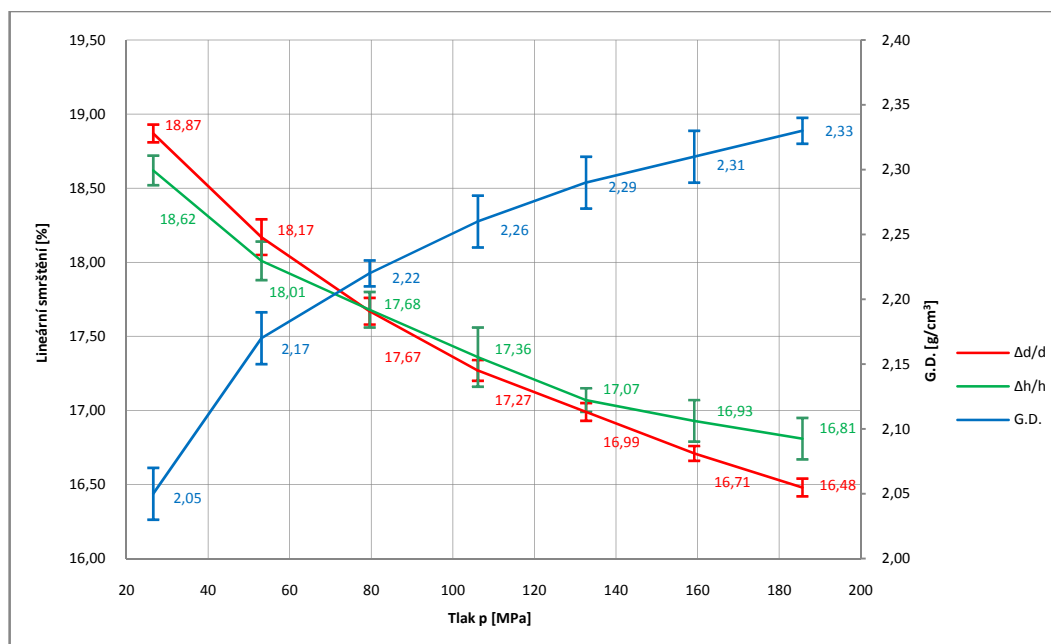
Obr. 7.13: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku – frakce 50-125



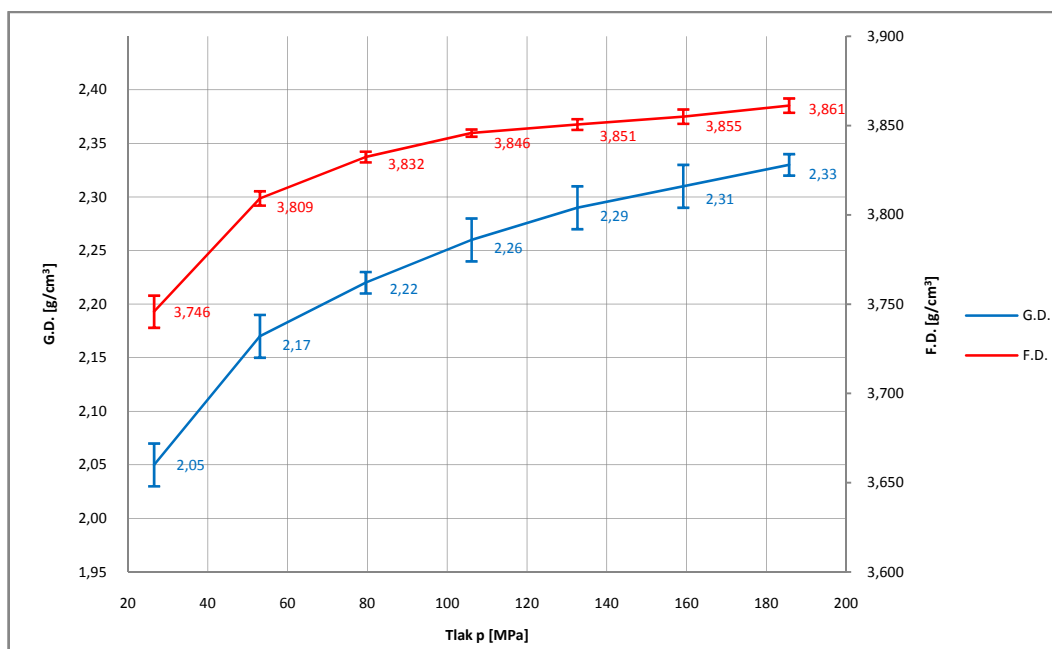
Obr. 7.14: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – frakce 50-125

Vzorky č.8 - NM9922F (frakce 63 - 125) - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	5,46	12,06	1,28	2,05	5,54	12,06	1,30	2,05	5,51	12,06	1,28	2,03
53,05	5,20	12,05	1,28	2,16	5,19	12,05	1,28	2,16	5,15	12,05	1,28	2,18
79,58	5,12	12,04	1,29	2,21	5,06	12,05	1,28	2,22	5,05	12,04	1,28	2,23
106,11	4,95	12,04	1,27	2,25	4,95	12,04	1,28	2,27	4,93	12,04	1,27	2,26
132,63	4,85	12,05	1,27	2,30	4,86	12,04	1,27	2,30	4,88	12,04	1,27	2,29
159,16	4,82	12,04	1,27	2,31	4,85	12,04	1,27	2,30	4,85	12,04	1,27	2,30
185,69	4,86	12,04	1,29	2,33	4,79	12,04	1,27	2,33	4,80	12,04	1,28	2,34
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	5,48	12,06	1,28	2,04	5,56	12,06	1,30	2,05				
53,05	5,13	12,06	1,27	2,17	5,20	12,05	1,28	2,16				
79,58	5,05	12,04	1,28	2,23	5,06	12,04	1,28	2,22				
106,11	4,87	12,05	1,26	2,27	4,95	12,04	1,27	2,25				
132,63	4,88	12,04	1,27	2,29	4,90	12,04	1,27	2,28				
159,16	4,85	12,04	1,28	2,32	4,84	12,04	1,27	2,30				
185,69	4,79	12,04	1,27	2,33	4,80	12,04	1,28	2,34				
Vzorky č.8 - NM9922F (frakce 63 - 125) hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,44	9,78	1,22	3,738	4,51	9,79	1,23	3,746	4,49	9,78	1,22	3,740
53,05	4,26	9,86	1,22	3,813	4,25	9,87	1,22	3,806	4,22	9,87	1,22	3,811
79,58	4,21	9,92	1,24	3,835	4,16	9,91	1,22	3,829	4,16	9,91	1,23	3,832
106,11	4,10	9,97	1,22	3,847	4,09	9,96	1,22	3,846	4,07	9,96	1,21	3,847
132,63	4,02	10,00	1,21	3,850	4,03	9,99	1,21	3,854	4,05	10,00	1,21	3,848
159,16	4,01	10,03	1,22	3,855	4,03	10,03	1,22	3,855	4,02	10,03	1,22	3,859
185,69	4,04	10,06	1,24	3,860	3,99	10,05	1,22	3,862	3,99	10,06	1,22	3,857
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,46	9,78	1,22	3,755	4,52	9,79	1,24	3,750				
53,05	4,21	9,85	1,22	3,810	4,27	9,86	1,22	3,806				
79,58	4,16	9,92	1,22	3,833	4,17	9,91	1,22	3,833				
106,11	4,03	9,96	1,20	3,845	4,08	9,96	1,22	3,844				
132,63	4,05	10,00	1,22	3,850	4,06	9,99	1,22	3,851				
159,16	4,03	10,03	1,22	3,851	4,02	10,02	1,22	3,855				
185,69	3,98	10,05	1,22	3,865	4,00	10,06	1,22	3,862				

Tab. 7.8: Naměřené hodnoty – frakce 63-125



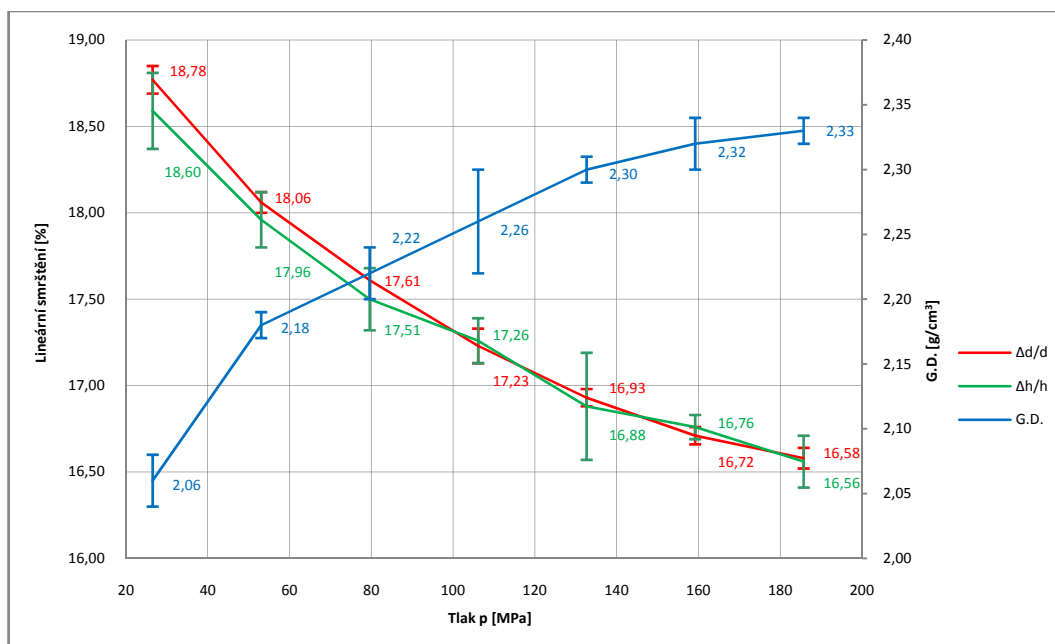
Obr. 7.15: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku – frakce 63-125



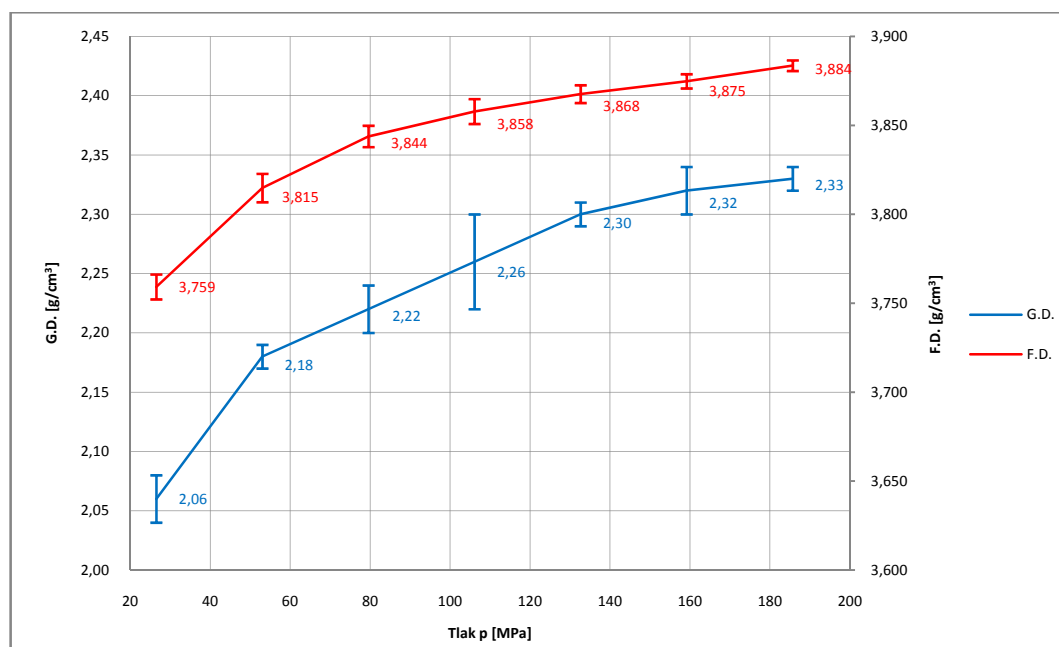
Obr. 7.16: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – frakce 63-125

Vzorky č.9 - NM9922F (h/d = 0,658) - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	4,15	12,04	0,97	2,05	4,16	12,04	0,97	2,05	4,13	12,04	0,97	2,06
53,05	3,91	12,04	0,97	2,18	3,95	12,04	0,98	2,18	3,92	12,04	0,97	2,17
79,58	3,82	12,04	0,96	2,21	3,81	12,04	0,97	2,24	3,84	12,04	0,97	2,22
106,11	3,80	12,04	0,98	2,27	3,71	12,04	0,96	2,27	3,76	12,04	0,97	2,27
132,63	3,67	12,04	0,96	2,30	3,77	12,04	0,98	2,28	3,71	12,04	0,97	2,30
159,16	3,70	12,04	0,98	2,33	3,69	12,04	0,98	2,33	3,70	12,04	0,98	2,33
185,69	3,66	12,04	0,97	2,33	3,66	12,04	0,97	2,33	3,66	12,04	0,97	2,33
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	4,16	12,04	0,97	2,05	4,16	12,04	0,98	2,07				
53,05	3,92	12,04	0,97	2,17	3,96	12,04	0,98	2,17				
79,58	3,83	12,04	0,97	2,22	3,84	12,04	0,97	2,22				
106,11	3,76	12,04	0,97	2,27	3,86	12,04	0,97	2,21				
132,63	3,74	12,04	0,98	2,30	3,71	12,04	0,97	2,30				
159,16	3,66	12,04	0,97	2,33	3,75	12,04	0,98	2,30				
185,69	3,68	12,04	0,98	2,34	3,64	12,04	0,97	2,34				
Vzorky č.9 - NM9922F (h/d = 0,658) - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	3,37	9,78	0,93	3,764	3,39	9,78	0,93	3,758	3,37	9,77	0,93	3,762
53,05	3,20	9,86	0,93	3,820	3,24	9,87	0,93	3,810	3,22	9,86	0,93	3,821
79,58	3,15	9,92	0,93	3,838	3,15	9,92	0,93	3,848	3,17	9,92	0,93	3,842
106,11	3,14	9,96	0,94	3,865	3,07	9,96	0,93	3,859	3,11	9,96	0,91	3,857
132,63	3,06	10,00	0,92	3,871	3,12	10,00	0,94	3,870	3,09	10,00	0,93	3,867
159,16	3,08	10,03	0,93	3,876	3,07	10,03	0,93	3,875	3,08	10,03	0,94	3,878
185,69	3,05	10,05	0,93	3,881	3,05	10,05	0,93	3,885	3,06	10,04	0,93	3,883
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	3,38	9,78	0,93	3,760	3,39	9,79	0,94	3,752				
53,05	3,22	9,87	0,93	3,809	3,25	9,87	0,94	3,814				
79,58	3,16	9,92	0,93	3,847	3,16	9,92	0,93	3,844				
106,11	3,11	9,97	0,93	3,855	3,20	9,98	0,93	3,853				
132,63	3,11	10,01	0,97	3,867	3,08	10,00	0,93	3,863				
159,16	3,05	10,02	0,92	3,873	3,12	10,03	0,95	3,872				
185,69	3,07	10,04	0,94	3,885	3,04	10,04	0,92	3,884				

Tab. 7.9: Naměřené hodnoty – NM9922F (h/d = 0,658)



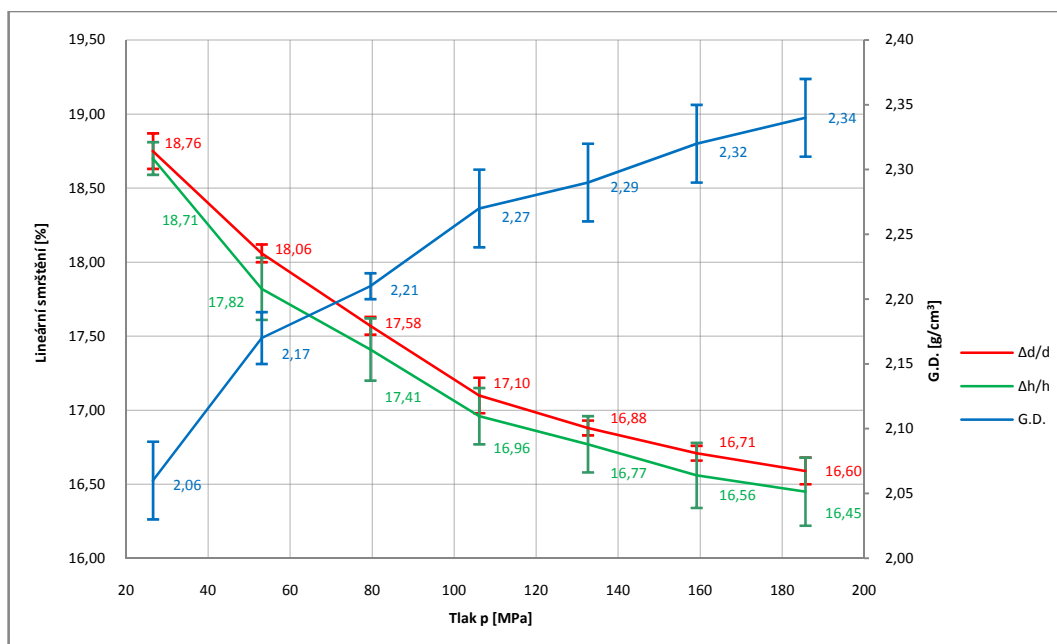
Obr. 7.17: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku – NM9922F ($h/d = 0,658$)



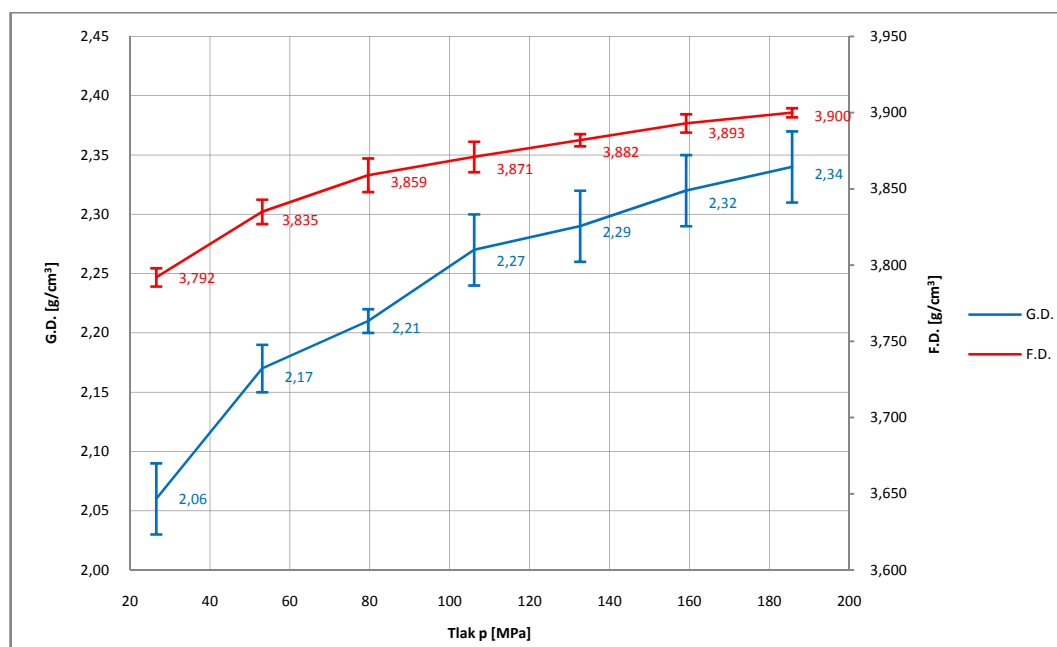
Obr. 7.18: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – NM9922F ($h/d = 0,658$)

Vzorky č.10 - NM9922F (h/d = 0,403) - hodnoty po vylisování												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	G.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	G.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	G.D.-3 [g/cm ³]
26,53	2,46	12,04	0,57	2,04	2,50	12,04	0,58	2,04	2,47	12,04	0,58	2,06
53,05	2,31	12,04	0,57	2,17	2,32	12,04	0,57	2,16	2,36	12,04	0,58	2,16
79,58	2,30	12,04	0,58	2,21	2,34	12,04	0,59	2,21	2,27	12,04	0,57	2,21
106,11	2,29	12,04	0,59	2,26	2,25	12,04	0,58	2,26	2,27	12,04	0,58	2,24
132,63	2,25	12,04	0,59	2,30	2,24	12,04	0,58	2,27	2,25	12,04	0,58	2,26
159,16	2,21	12,04	0,59	2,34	2,21	12,04	0,58	2,31	2,25	12,04	0,59	2,30
185,69	2,16	12,04	0,58	2,36	2,19	12,04	0,58	2,33	2,17	12,04	0,58	2,35
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	G.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	G.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	2,47	12,04	0,58	2,06	2,45	12,04	0,58	2,08				
53,05	2,37	12,04	0,59	2,19	2,37	12,04	0,59	2,19				
79,58	2,26	12,04	0,57	2,22	2,26	12,04	0,57	2,22				
106,11	2,25	12,04	0,58	2,26	2,26	12,04	0,59	2,29				
132,63	2,20	12,04	0,58	2,32	2,27	12,04	0,59	2,28				
159,16	2,26	12,04	0,60	2,33	2,24	12,04	0,59	2,31				
185,69	2,20	12,04	0,58	2,32	2,22	12,04	0,59	2,33				
Vzorky č.10 - NM9922F (h/d = 0,403) - hodnoty po slinování 1575 °C/1 hod												
p [MPa]	h ₁ [mm]	d ₁ [mm]	m ₁ [g]	F.D.-1 [g/cm ³]	h ₂ [mm]	d ₂ [mm]	m ₂ [g]	F.D.-2 [g/cm ³]	h ₃ [mm]	d ₃ [mm]	m ₃ [g]	F.D.-3 [g/cm ³]
26,53	2,00	9,80	0,55	3,796	2,03	9,78	0,56	3,786	2,01	9,78	0,56	3,793
53,05	1,90	9,87	0,55	3,841	1,90	9,87	0,55	3,842	1,94	9,87	0,56	3,834
79,58	1,90	9,92	0,56	3,869	1,93	9,92	0,57	3,847	1,87	9,93	0,55	3,855
106,11	1,90	10,00	0,55	3,879	1,87	9,98	0,56	3,874	1,88	9,98	0,57	3,870
132,63	1,87	10,00	0,56	3,885	1,87	10,01	0,56	3,882	1,87	10,01	0,57	3,880
159,16	1,84	10,03	0,56	3,895	1,84	10,03	0,55	3,892	1,88	10,03	0,57	3,886
185,69	1,80	10,05	0,56	3,901	1,83	10,04	0,56	3,897	1,81	10,05	0,56	3,901
p [MPa]	h ₄ [mm]	d ₄ [mm]	m ₄ [g]	F.D.-4 [g/cm ³]	h ₅ [mm]	d ₅ [mm]	m ₅ [g]	F.D.-5 [g/cm ³]				
26,53	2,01	9,78	0,56	3,789	1,99	9,77	0,55	3,796				
53,05	1,95	9,86	0,56	3,831	1,95	9,86	0,56	3,829				
79,58	1,87	9,92	0,55	3,862	1,87	9,93	0,55	3,860				
106,11	1,87	9,98	0,56	3,859	1,88	9,97	0,56	3,873				
132,63	1,83	10,01	0,55	3,879	1,89	10,01	0,57	3,884				
159,16	1,89	10,02	0,57	3,894	1,87	10,03	0,56	3,896				
185,69	1,84	10,03	0,55	3,902	1,86	10,04	0,56	3,900				

Tab. 7.10: Naměřené hodnoty – NM9922F (h/d = 0,403)



Obr. 7.19: Závislost lineárního smrštění a G.D. na lisovacím tlaku –
NM9922F ($h/d = 0,403$)

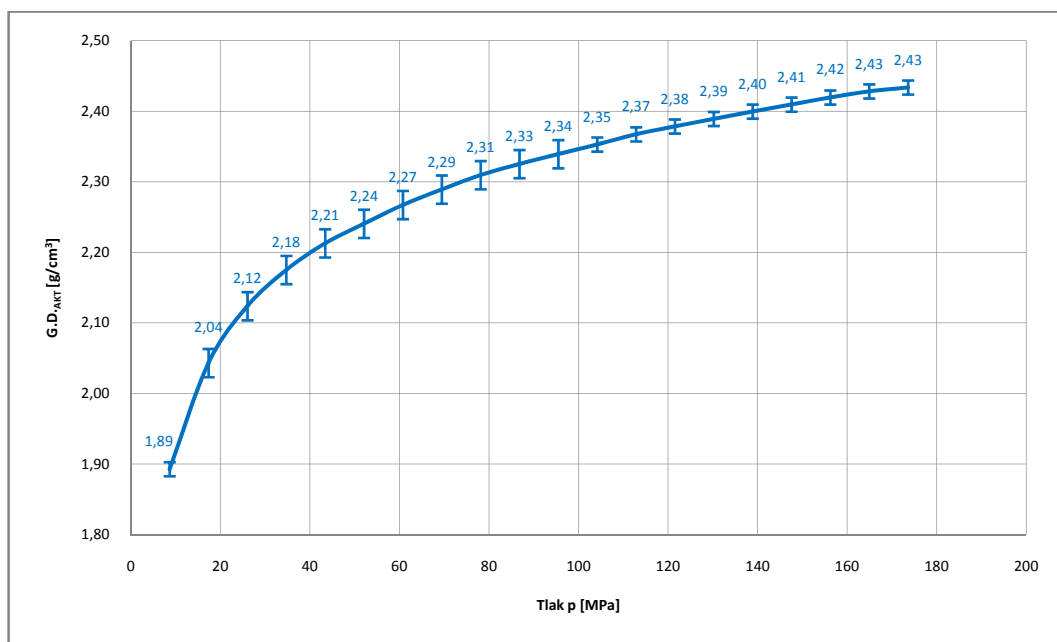


Obr. 7.20: Závislost G.D. a F.D. na lisovacím tlaku – NM9922F ($h/d = 0,403$)

Příloha č. 15

Vzorky č.1 - NM9922F - Stlačení x [mm]										
p [MPa]	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,55	4,49	4,38	4,32	4,40	4,46	4,52	4,50	4,51	4,48
17,36	4,96	4,99	4,85	4,76	4,85	4,92	4,97	4,95	4,96	4,92
26,04	5,17	5,22	5,08	5,01	5,06	5,14	5,18	5,13	5,16	5,14
34,72	5,30	5,36	5,20	5,14	5,19	5,27	5,31	5,26	5,28	5,27
43,40	5,39	5,45	5,29	5,22	5,27	5,36	5,41	5,36	5,38	5,36
52,08	5,45	5,52	5,36	5,29	5,34	5,42	5,47	5,42	5,45	5,42
60,76	5,51	5,57	5,43	5,35	5,41	5,48	5,53	5,48	5,51	5,48
69,44	5,57	5,61	5,47	5,40	5,46	5,53	5,58	5,53	5,56	5,53
78,13	5,62	5,64	5,51	5,45	5,51	5,58	5,62	5,57	5,61	5,58
86,81	5,65	5,67	5,55	5,49	5,55	5,61	5,65	5,61	5,64	5,61
95,49	5,68	5,70	5,58	5,52	5,58	5,64	5,68	5,64	5,67	5,64
104,17	5,71	5,72	5,61	5,55	5,61	5,67	5,71	5,67	5,70	5,67
112,85	5,74	5,74	5,64	5,58	5,65	5,70	5,74	5,70	5,73	5,70
121,53	5,77	5,76	5,66	5,61	5,68	5,72	5,76	5,72	5,75	5,72
130,21	5,79	5,78	5,68	5,64	5,71	5,74	5,78	5,74	5,77	5,74
138,89	5,81	5,80	5,70	5,67	5,73	5,76	5,80	5,76	5,79	5,76
147,57	5,83	5,82	5,72	5,69	5,75	5,78	5,82	5,78	5,81	5,78
156,25	5,85	5,83	5,74	5,71	5,78	5,80	5,84	5,80	5,83	5,80
164,93	5,87	5,84	5,75	5,73	5,80	5,82	5,86	5,81	5,85	5,82
173,61	5,88	5,85	5,76	5,74	5,81	5,83	5,87	5,82	5,87	5,83
Hmotnost [g]	1,31	1,31	1,33	1,33	1,32	1,31	1,30	1,31	1,30	1,32
Výška vzorku [mm]	4,91	4,94	5,03	5,03	4,98	4,94	4,93	4,96	4,91	4,97
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,03	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,34	2,33	2,32	2,32	2,33	2,33	2,32	2,32	2,33	2,33

Tab. 7.11: Naměřené hodnoty stlačení – NM9922F

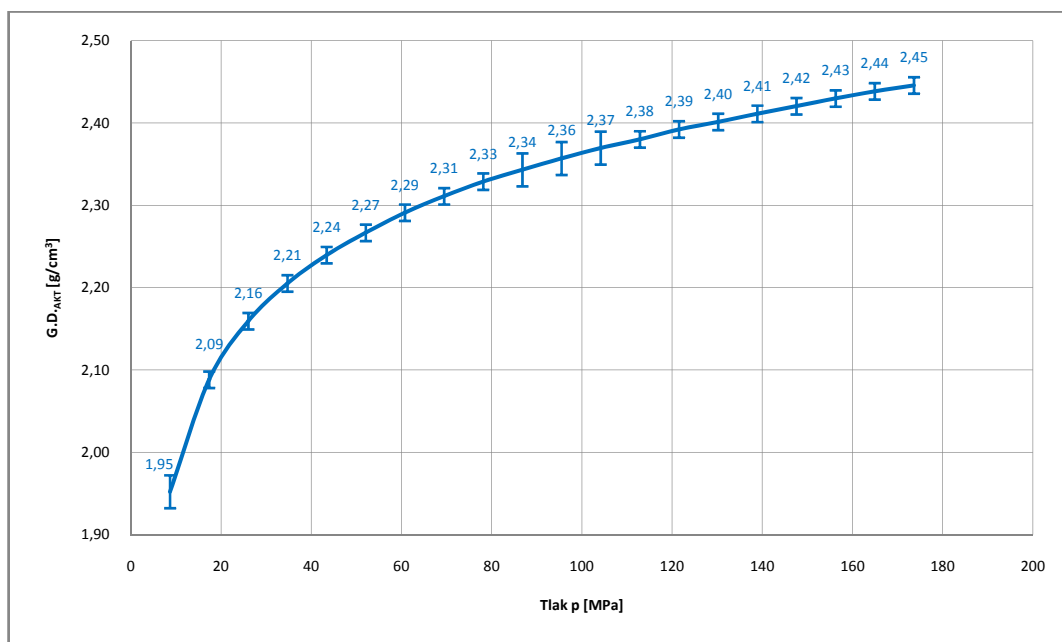


Obr. 7.21: Závislost $G.D_{AKT}$ na lisovacím tlaku – NM9922F

Příloha č. 16

p [MPa]	Vzorky č.2 - 8434 - Stlačení x [mm]									
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,17	4,23	4,09	4,14	4,18	4,17	4,17	4,22	4,12	4,14
17,36	4,59	4,60	4,51	4,55	4,60	4,60	4,59	4,61	4,58	4,60
26,04	4,79	4,79	4,70	4,75	4,80	4,78	4,79	4,80	4,81	4,81
34,72	4,91	4,90	4,82	4,87	4,92	4,89	4,91	4,93	4,94	4,94
43,40	4,99	4,97	4,90	4,95	4,99	5,00	5,00	5,03	5,05	5,01
52,08	5,06	5,03	4,97	5,02	5,06	5,06	5,07	5,10	5,12	5,08
60,76	5,12	5,09	5,03	5,08	5,12	5,11	5,12	5,16	5,18	5,15
69,44	5,16	5,14	5,08	5,13	5,17	5,16	5,17	5,21	5,23	5,19
78,13	5,21	5,19	5,12	5,17	5,21	5,20	5,21	5,25	5,26	5,23
86,81	5,24	5,23	5,15	5,20	5,25	5,23	5,25	5,28	5,29	5,26
95,49	5,27	5,26	5,18	5,23	5,28	5,26	5,29	5,31	5,32	5,29
104,17	5,30	5,29	5,21	5,26	5,31	5,29	5,32	5,34	5,35	5,31
112,85	5,32	5,31	5,24	5,28	5,33	5,32	5,35	5,36	5,37	5,33
121,53	5,35	5,33	5,26	5,31	5,36	5,35	5,38	5,38	5,39	5,37
130,21	5,37	5,35	5,28	5,33	5,38	5,37	5,40	5,40	5,41	5,39
138,89	5,39	5,37	5,30	5,35	5,40	5,40	5,42	5,42	5,43	5,41
147,57	5,41	5,39	5,32	5,37	5,42	5,42	5,44	5,44	5,45	5,43
156,25	5,43	5,41	5,34	5,39	5,44	5,44	5,46	5,46	5,47	5,45
164,93	5,45	5,43	5,36	5,41	5,46	5,46	5,48	5,48	5,49	5,46
173,61	5,46	5,45	5,38	5,42	5,47	5,48	5,50	5,49	5,50	5,47
Hmotnost [g]	1,43	1,43	1,43	1,43	1,42	1,41	1,42	1,42	1,41	1,41
Výška vzorku [mm]	5,33	5,33	5,42	5,37	5,33	5,28	5,29	5,29	5,28	5,32
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,36	2,36	2,32	2,34	2,34	2,35	2,36	2,36	2,35	2,33

Tab. 7.12: Naměřené hodnoty stlačení – 8434

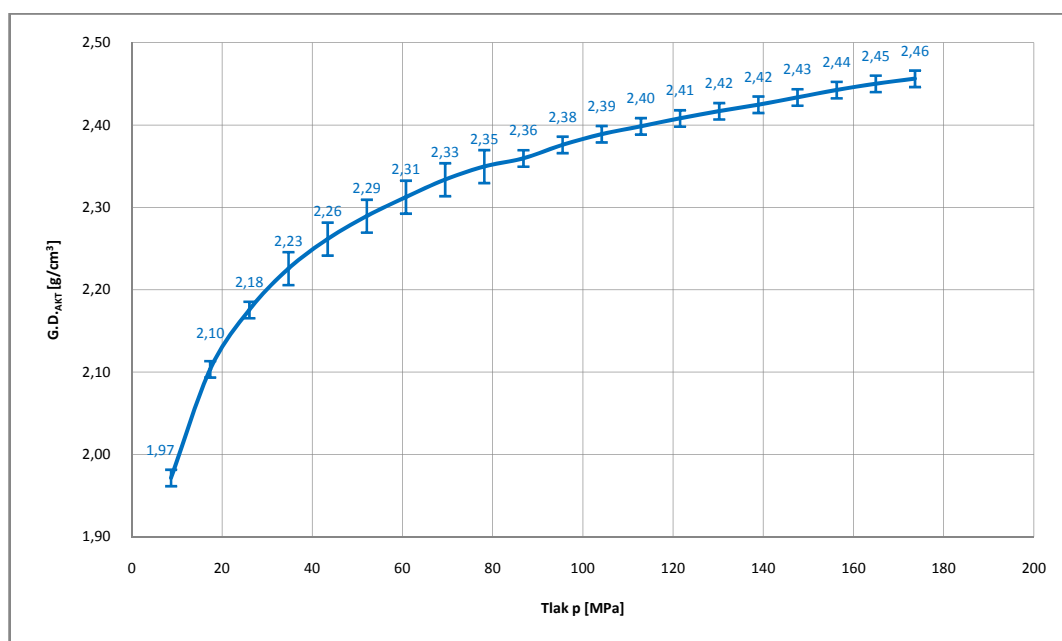


Obr. 7.22: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – 8434

Příloha č. 17

Vzorky č.3 – 8435 - Stlačení x [mm]										
p [MPa]	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,22	4,17	4,22	4,18	4,18	4,17	4,26	4,15	4,19	4,17
17,36	4,64	4,58	4,63	4,60	4,56	4,55	4,65	4,55	4,60	4,57
26,04	4,85	4,77	4,83	4,79	4,76	4,77	4,84	4,74	4,80	4,77
34,72	5,01	4,90	4,96	4,91	4,89	4,89	4,96	4,87	4,93	4,91
43,40	5,09	4,99	5,05	4,99	4,98	4,99	5,06	4,96	5,02	5,00
52,08	5,16	5,06	5,12	5,06	5,05	5,05	5,13	5,03	5,08	5,07
60,76	5,21	5,11	5,17	5,12	5,11	5,11	5,18	5,09	5,14	5,12
69,44	5,26	5,16	5,22	5,17	5,16	5,17	5,23	5,13	5,19	5,17
78,13	5,30	5,19	5,26	5,21	5,19	5,21	5,26	5,17	5,23	5,20
86,81	5,33	5,23	5,20	5,25	5,22	5,24	5,29	5,20	5,26	5,23
95,49	5,36	5,26	5,32	5,28	5,24	5,27	5,32	5,23	5,29	5,25
104,17	5,38	5,29	5,35	5,31	5,27	5,30	5,35	5,26	5,32	5,28
112,85	5,40	5,31	5,37	5,34	5,29	5,32	5,37	5,28	5,34	5,30
121,53	5,41	5,34	5,39	5,37	5,31	5,34	5,39	5,30	5,36	5,32
130,21	5,42	5,36	5,41	5,39	5,33	5,36	5,41	5,32	5,38	5,34
138,89	5,44	5,37	5,42	5,41	5,35	5,38	5,42	5,34	5,40	5,36
147,57	5,46	5,39	5,44	5,43	5,37	5,40	5,43	5,36	5,42	5,38
156,25	5,48	5,41	5,46	5,45	5,39	5,42	5,44	5,38	5,44	5,40
164,93	5,49	5,42	5,47	5,47	5,41	5,44	5,46	5,40	5,45	5,42
173,61	5,50	5,44	5,48	5,49	5,42	5,46	5,47	5,41	5,46	5,43
Hmotnost [g]	1,42	1,43	1,43	1,42	1,44	1,42	1,42	1,44	1,43	1,44
Výška vzorku [mm]	5,31	5,35	5,34	5,33	5,37	5,33	5,33	5,38	5,34	5,38
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,35	2,35	2,35	2,34	2,36	2,34	2,34	2,35	2,35	2,35

Tab. 7.13: Naměřené hodnoty stlačení – 8435

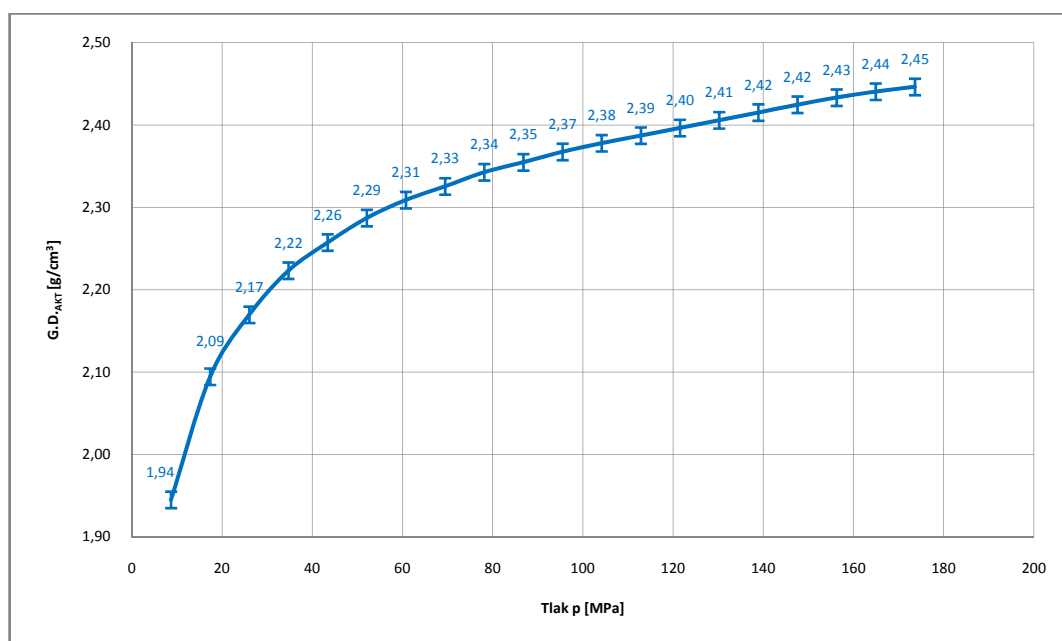


Obr. 7.23: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – 8435

Příloha č. 18

Vzorky č.4 - 8430 - Stlačení x [mm]										
p [MPa]	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,30	4,26	4,24	4,23	4,20	4,26	4,29	4,26	4,24	4,30
17,36	4,76	4,71	4,69	4,68	4,66	4,71	4,72	4,75	4,69	4,74
26,04	4,97	4,90	4,90	4,88	4,87	4,91	4,92	4,96	4,91	4,93
34,72	5,12	5,04	5,03	5,01	5,00	5,05	5,06	5,11	5,04	5,06
43,40	5,21	5,12	5,11	5,09	5,09	5,13	5,14	5,21	5,12	5,14
52,08	5,29	5,19	5,18	5,16	5,16	5,20	5,21	5,28	5,19	5,21
60,76	5,34	5,25	5,23	5,22	5,21	5,25	5,26	5,32	5,24	5,26
69,44	5,39	5,29	5,27	5,25	5,24	5,29	5,30	5,35	5,28	5,30
78,13	5,43	5,33	5,31	5,29	5,28	5,33	5,35	5,38	5,32	5,33
86,81	5,46	5,36	5,33	5,32	5,30	5,35	5,39	5,40	5,35	5,36
95,49	5,49	5,39	5,36	5,35	5,33	5,38	5,42	5,42	5,38	5,38
104,17	5,52	5,42	5,38	5,37	5,35	5,40	5,44	5,44	5,41	5,40
112,85	5,54	5,44	5,40	5,39	5,37	5,42	5,46	5,46	5,43	5,42
121,53	5,56	5,46	5,42	5,41	5,39	5,44	5,48	5,48	5,45	5,44
130,21	5,58	5,48	5,44	5,43	5,41	5,46	5,50	5,50	5,47	5,46
138,89	5,60	5,50	5,46	5,45	5,43	5,48	5,52	5,52	5,49	5,48
147,57	5,62	5,52	5,48	5,47	5,45	5,50	5,54	5,54	5,51	5,50
156,25	5,64	5,54	5,50	5,49	5,47	5,51	5,56	5,55	5,53	5,52
164,93	5,65	5,56	5,52	5,51	5,48	5,52	5,58	5,56	5,54	5,54
173,61	5,66	5,58	5,53	5,52	5,49	5,53	5,60	5,57	5,55	5,55
Hmotnost [g]	1,37	1,40	1,41	1,40	1,41	1,40	1,38	1,39	1,40	1,39
Výška vzorku [mm]	5,14	5,23	5,28	5,28	5,31	5,28	5,18	5,21	5,25	5,26
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,05	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,34	2,35	2,35	2,33	2,33	2,33	2,34	2,34	2,34	2,32

Tab. 7.14: Naměřené hodnoty stlačení – 8430

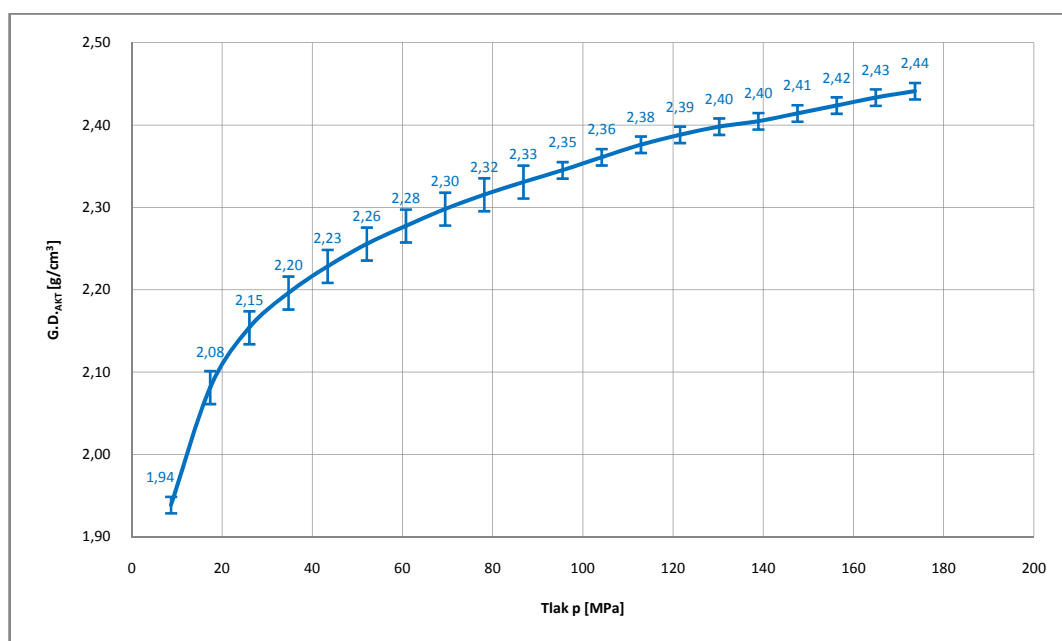


Obr. 7.24: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – 8430

Příloha č. 19

p [MPa]	Vzorky č.5 - 8426 - Stlačení x [mm]									
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,34	4,25	4,25	4,36	4,30	4,37	4,22	4,19	4,36	4,37
17,36	4,75	4,65	4,65	4,82	4,75	4,84	4,58	4,61	4,81	4,86
26,04	4,96	4,86	4,86	5,01	4,94	5,03	4,79	4,81	5,00	5,04
34,72	5,07	4,98	4,98	5,11	5,08	5,12	4,91	4,91	5,10	5,13
43,40	5,16	5,07	5,07	5,18	5,16	5,19	5,01	4,99	5,18	5,19
52,08	5,22	5,14	5,14	5,24	5,23	5,25	5,09	5,06	5,24	5,25
60,76	5,28	5,19	5,19	5,29	5,28	5,30	5,15	5,11	5,29	5,30
69,44	5,32	5,25	5,25	5,33	5,33	5,34	5,21	5,16	5,33	5,34
78,13	5,36	5,29	5,29	5,37	5,37	5,37	5,26	5,21	5,37	5,37
86,81	5,40	5,33	5,33	5,40	5,40	5,40	5,30	5,25	5,40	5,40
95,49	5,43	5,36	5,36	5,43	5,42	5,43	5,33	5,31	5,43	5,43
104,17	5,46	5,40	5,40	5,46	5,44	5,46	5,37	5,37	5,46	5,46
112,85	5,49	5,43	5,43	5,50	5,46	5,50	5,40	5,40	5,50	5,50
121,53	5,51	5,45	5,45	5,53	5,48	5,53	5,42	5,43	5,53	5,54
130,21	5,53	5,47	5,47	5,55	5,50	5,55	5,44	5,45	5,55	5,57
138,89	5,55	5,49	5,49	5,56	5,52	5,56	5,46	5,47	5,56	5,56
147,57	5,57	5,51	5,51	5,58	5,54	5,58	5,48	5,49	5,58	5,58
156,25	5,59	5,53	5,53	5,60	5,56	5,60	5,50	5,51	5,60	5,60
164,93	5,61	5,55	5,55	5,62	5,58	5,62	5,52	5,53	5,62	5,62
173,61	5,62	5,57	5,57	5,63	5,59	5,64	5,54	5,55	5,63	5,64
Hmotnost [g]	1,37	1,39	1,39	1,37	1,39	1,37	1,39	1,39	1,38	1,37
Výška vzorku [mm]	5,17	5,25	5,24	5,14	5,20	5,13	5,25	5,21	5,15	5,12
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,03	12,03	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,33	2,33	2,33	2,35	2,35	2,35	2,33	2,34	2,35	2,35

Tab. 7.15: Naměřené hodnoty stlačení – 8426

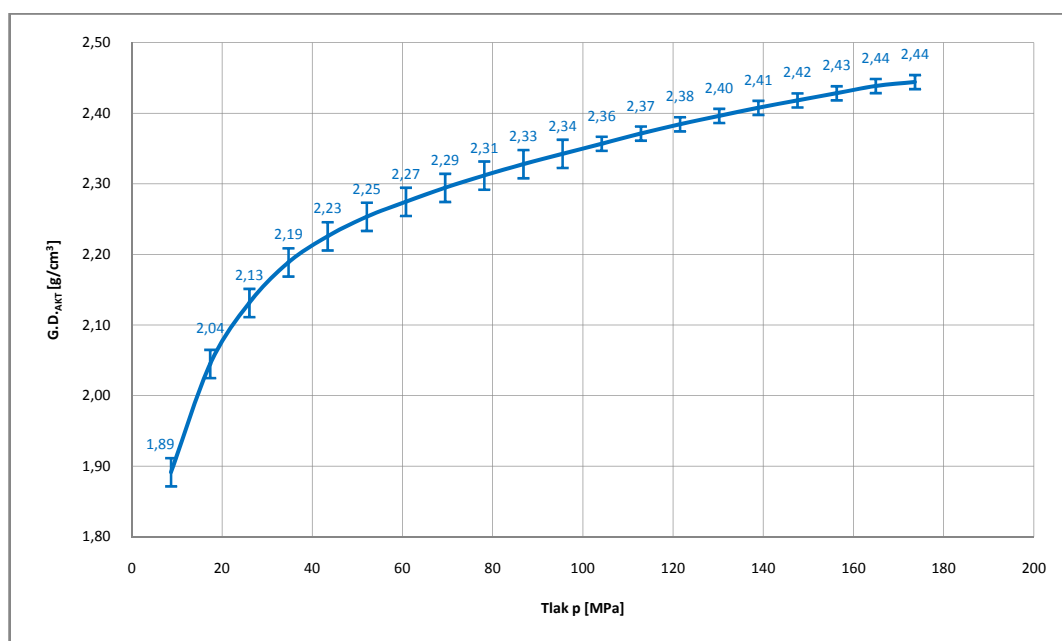


Obr. 7.25: Závislost G.D._{AKT} na lisovacím tlaku – 8426

Příloha č. 20

p [MPa]	Vzorky č.6 - NM9922F (frakce 50 - 100) - Stlačení x [mm]									
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,45	4,50	4,48	4,50	4,57	4,48	4,45	4,41	4,38	4,45
17,36	4,90	4,95	4,94	4,94	4,99	4,89	4,91	4,93	4,89	4,93
26,04	5,15	5,21	5,18	5,16	5,19	5,09	5,18	5,14	5,12	5,15
34,72	5,30	5,37	5,32	5,29	5,32	5,23	5,33	5,29	5,27	5,28
43,40	5,38	5,44	5,40	5,35	5,44	5,32	5,41	5,38	5,37	5,39
52,08	5,45	5,49	5,46	5,40	5,51	5,40	5,47	5,44	5,43	5,47
60,76	5,50	5,53	5,51	5,44	5,56	5,47	5,51	5,47	5,48	5,53
69,44	5,54	5,57	5,55	5,48	5,60	5,53	5,55	5,51	5,53	5,58
78,13	5,58	5,60	5,58	5,51	5,64	5,57	5,59	5,56	5,57	5,62
86,81	5,62	5,63	5,62	5,54	5,68	5,61	5,62	5,59	5,61	5,65
95,49	5,65	5,66	5,65	5,57	5,72	5,64	5,65	5,62	5,64	5,68
104,17	5,68	5,69	5,68	5,60	5,75	5,67	5,68	5,65	5,67	5,71
112,85	5,71	5,72	5,71	5,63	5,78	5,70	5,71	5,68	5,70	5,74
121,53	5,74	5,74	5,74	5,65	5,81	5,73	5,74	5,71	5,72	5,77
130,21	5,77	5,76	5,76	5,67	5,84	5,76	5,76	5,73	5,74	5,80
138,89	5,80	5,78	5,78	5,69	5,86	5,79	5,79	5,75	5,76	5,82
147,57	5,82	5,80	5,80	5,71	5,88	5,82	5,81	5,77	5,78	5,84
156,25	5,84	5,82	5,82	5,73	5,90	5,84	5,83	5,79	5,80	5,86
164,93	5,86	5,84	5,84	5,75	5,92	5,86	5,85	5,81	5,82	5,88
173,61	5,87	5,85	5,85	5,76	5,93	5,88	5,86	5,82	5,83	5,89
Hmotnost [g]	1,31	1,31	1,31	1,33	1,30	1,31	1,31	1,32	1,32	1,30
Výška vzorku [mm]	4,94	4,95	4,95	5,02	4,86	4,91	4,94	4,97	4,98	4,90
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,05	12,05	12,05	12,05
G.D. [g/cm ³]	2,33	2,32	2,32	2,33	2,35	2,34	2,33	2,33	2,32	2,33

Tab. 7.16: Naměřené hodnoty stlačení – frakce 50-100

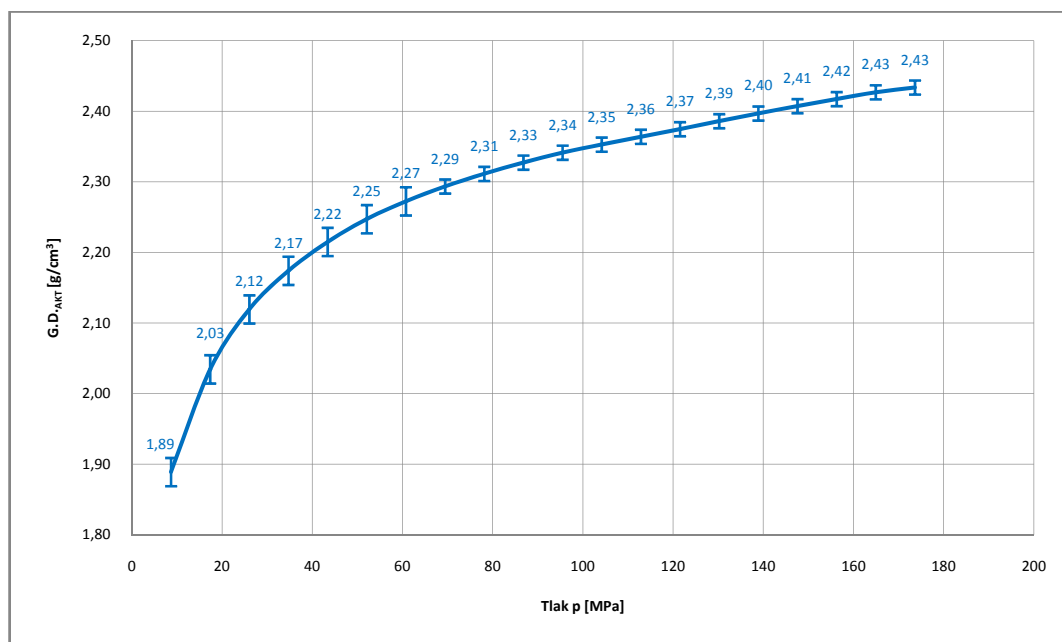


Obr. 7.26: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – frakce 50-100

Příloha č. 21

Vzorky č. 7 - NM9922F (frakce 50 - 125) - Stlačení x [mm]										
p [MPa]	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,44	4,49	4,45	4,42	4,49	4,46	4,45	4,46	4,35	4,43
17,36	4,88	4,92	4,90	4,85	4,92	4,89	4,89	4,91	4,85	4,84
26,04	5,11	5,15	5,13	5,06	5,15	5,10	5,12	5,14	5,08	5,10
34,72	5,25	5,30	5,27	5,20	5,28	5,23	5,26	5,28	5,22	5,23
43,40	5,35	5,39	5,37	5,30	5,38	5,33	5,36	5,37	5,33	5,33
52,08	5,42	5,46	5,44	5,37	5,45	5,40	5,43	5,45	5,42	5,42
60,76	5,48	5,51	5,50	5,43	5,51	5,45	5,49	5,50	5,48	5,49
69,44	5,52	5,56	5,54	5,48	5,55	5,49	5,53	5,55	5,54	5,54
78,13	5,55	5,60	5,58	5,52	5,59	5,52	5,56	5,59	5,59	5,59
86,81	5,58	5,63	5,62	5,56	5,63	5,55	5,59	5,62	5,63	5,63
95,49	5,61	5,66	5,65	5,59	5,66	5,58	5,62	5,65	5,66	5,66
104,17	5,63	5,69	5,68	5,59	5,69	5,60	5,65	5,68	5,69	5,69
112,85	5,65	5,71	5,70	5,62	5,71	5,62	5,67	5,70	5,72	5,72
121,53	5,67	5,73	5,72	5,64	5,73	5,64	5,69	5,72	5,75	5,75
130,21	5,69	5,75	5,74	5,66	5,75	5,66	5,71	5,75	5,78	5,78
138,89	5,71	5,77	5,77	5,68	5,77	5,68	5,73	5,77	5,81	5,81
147,57	5,73	5,79	5,79	5,70	5,79	5,70	5,75	5,79	5,83	5,84
156,25	5,75	5,81	5,81	5,72	5,81	5,72	5,77	5,81	5,85	5,86
164,93	5,77	5,83	5,83	5,74	5,83	5,74	5,79	5,82	5,87	5,88
173,61	5,78	5,84	5,83	5,75	5,85	5,76	5,80	5,83	5,89	5,90
Hmotnost [g]	1,33	1,31	1,31	1,33	1,31	1,33	1,32	1,31	1,30	1,30
Výška vzorku [mm]	5,03	4,96	4,96	5,05	4,93	5,04	5,00	4,96	4,91	4,90
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,03	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,32	2,32	2,32	2,31	2,33	2,32	2,32	2,32	2,33	2,33

Tab. 7.17: Naměřené hodnoty stlačení – frakce 50-125

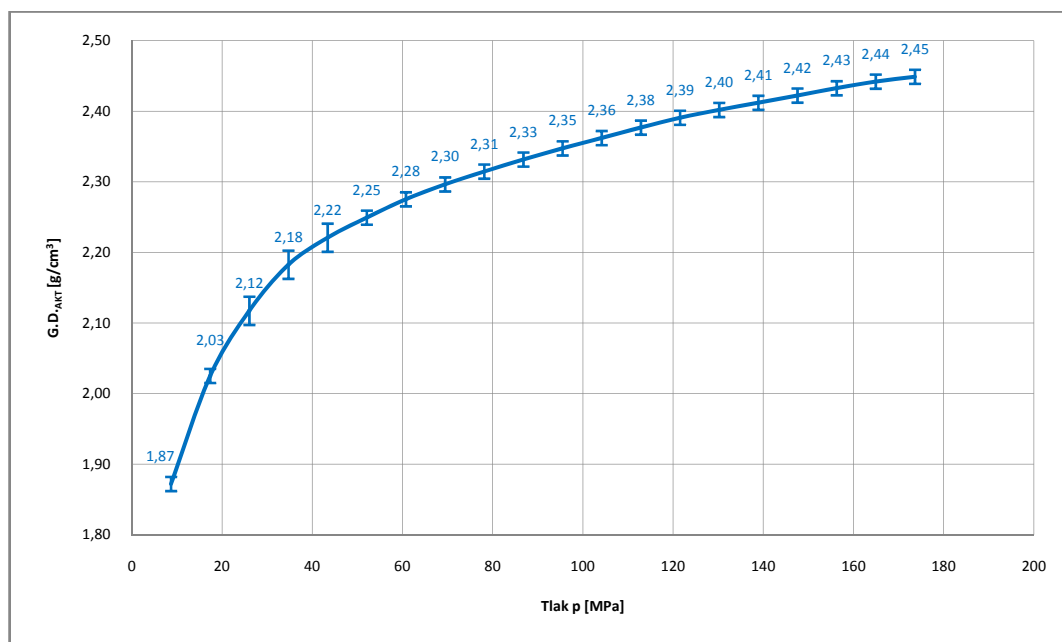


Obr. 7.27: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – frakce 50-125

Příloha č. 22

p [MPa]	Vzorky č.8 - NM9922F (frakce 63 - 125) - Stlačení x [mm]									
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	4,47	4,45	4,51	4,50	4,47	4,54	4,59	4,49	4,57	4,53
17,36	4,93	4,87	4,97	4,96	4,95	5,02	5,05	4,95	5,03	4,99
26,04	5,15	5,10	5,23	5,21	5,20	5,26	5,30	5,20	5,28	5,24
34,72	5,31	5,26	5,40	5,37	5,36	5,41	5,46	5,36	5,45	5,40
43,40	5,41	5,36	5,48	5,46	5,45	5,51	5,54	5,45	5,53	5,49
52,08	5,48	5,44	5,54	5,52	5,51	5,58	5,60	5,51	5,60	5,55
60,76	5,55	5,51	5,59	5,58	5,56	5,64	5,65	5,57	5,65	5,61
69,44	5,61	5,56	5,63	5,62	5,60	5,69	5,69	5,62	5,69	5,66
78,13	5,66	5,61	5,66	5,66	5,63	5,73	5,73	5,66	5,72	5,70
86,81	5,70	5,65	5,70	5,70	5,66	5,77	5,76	5,70	5,75	5,73
95,49	5,74	5,69	5,73	5,73	5,69	5,81	5,79	5,73	5,78	5,76
104,17	5,77	5,72	5,76	5,76	5,72	5,84	5,82	5,76	5,81	5,79
112,85	5,80	5,75	5,79	5,79	5,75	5,87	5,85	5,79	5,84	5,82
121,53	5,83	5,78	5,82	5,82	5,78	5,90	5,87	5,82	5,86	5,85
130,21	5,85	5,80	5,85	5,84	5,80	5,92	5,89	5,85	5,88	5,87
138,89	5,87	5,82	5,87	5,86	5,82	5,94	5,91	5,87	5,90	5,89
147,57	5,89	5,84	5,89	5,88	5,84	5,96	5,93	5,89	5,92	5,91
156,25	5,91	5,86	5,91	5,90	5,86	5,98	5,95	5,91	5,94	5,93
164,93	5,93	5,88	5,93	5,92	5,88	5,99	5,97	5,92	5,96	5,95
173,61	5,95	5,90	5,94	5,94	5,89	6,00	5,98	5,93	5,97	5,96
Hmotnost [g]	1,29	1,30	1,29	1,29	1,30	1,28	1,28	1,29	1,28	1,29
Výška vzorku [mm]	4,85	4,89	4,85	4,86	4,90	4,78	4,82	4,87	4,81	4,84
Průměr vzorku [mm]	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05	12,05
G.D. [g/cm ³]	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,35	2,33	2,32	2,33	2,34

Tab. 7.18: Naměřené hodnoty stlačení – frakce 63-125

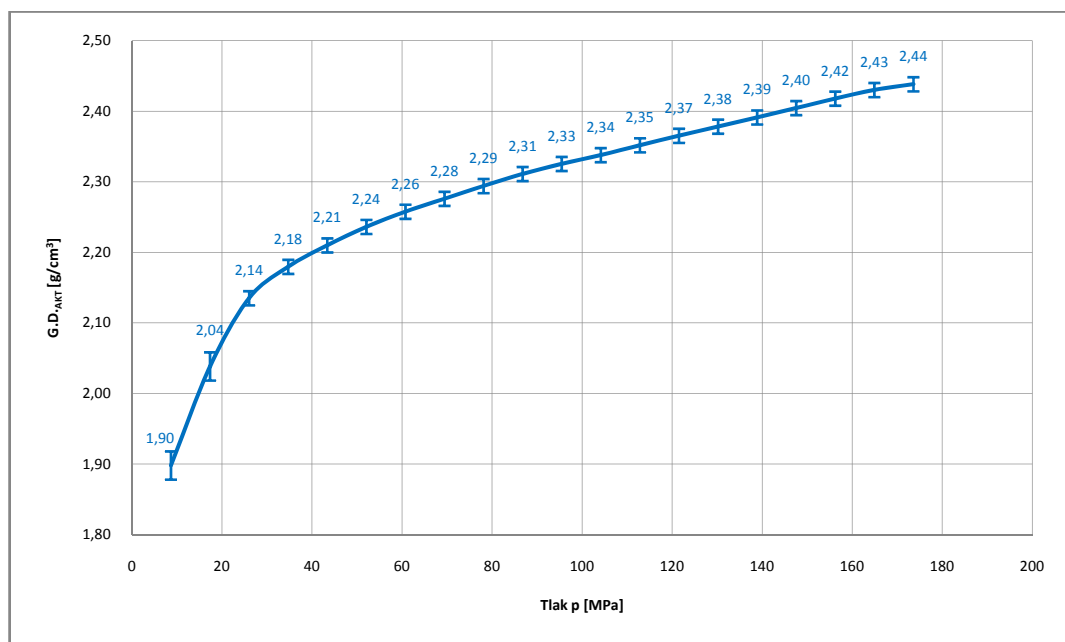


Obr. 7.28: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – frakce 63-125

Příloha č. 23

Vzorky č.9 - NM9922F (h/d = 0,658) - Stlačení x [mm]										
p [MPa]	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	3,30	3,32	3,36	3,33	3,31	3,35	3,33	3,28	3,35	3,32
17,36	3,63	3,57	3,62	3,64	3,62	3,68	3,63	3,64	3,67	3,70
26,04	3,80	3,85	3,80	3,85	3,79	3,87	3,84	3,81	3,86	3,86
34,72	3,89	3,94	3,86	3,93	3,88	3,96	3,92	3,89	3,94	3,95
43,40	3,94	4,00	3,91	3,99	3,95	4,00	3,97	3,95	4,00	4,00
52,08	3,99	4,05	3,95	4,03	4,01	4,04	4,02	4,00	4,04	4,04
60,76	4,03	4,08	3,98	4,07	4,06	4,08	4,06	4,03	4,08	4,07
69,44	4,06	4,11	4,02	4,10	4,09	4,11	4,09	4,06	4,11	4,10
78,13	4,09	4,14	4,05	4,13	4,12	4,14	4,12	4,09	4,14	4,13
86,81	4,11	4,17	4,08	4,16	4,15	4,17	4,15	4,11	4,17	4,16
95,49	4,14	4,19	4,11	4,18	4,17	4,20	4,17	4,13	4,19	4,18
104,17	4,16	4,21	4,13	4,20	4,19	4,22	4,19	4,15	4,21	4,20
112,85	4,18	4,23	4,15	4,22	4,21	4,24	4,21	4,17	4,23	4,24
121,53	4,20	4,25	4,18	4,24	4,23	4,26	4,23	4,19	4,25	4,26
130,21	4,22	4,27	4,20	4,26	4,25	4,28	4,25	4,21	4,27	4,28
138,89	4,24	4,29	4,22	4,28	4,27	4,30	4,27	4,23	4,29	4,30
147,57	4,26	4,31	4,24	4,30	4,29	4,32	4,29	4,25	4,31	4,32
156,25	4,28	4,33	4,26	4,32	4,31	4,34	4,31	4,27	4,33	4,34
164,93	4,30	4,35	4,28	4,33	4,33	4,35	4,33	4,29	4,35	4,36
173,61	4,31	4,36	4,29	4,34	4,35	4,36	4,34	4,31	4,36	4,37
Hmotnost [g]	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,99	0,97	0,98
Výška vzorku [mm]	3,73	3,67	3,75	3,70	3,68	3,65	3,70	3,71	3,67	3,66
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,05	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,33	2,35	2,32	2,33	2,34	2,33	2,35	2,34	2,32	2,35

Tab. 7.19: Naměřené hodnoty stlačení – NM9922F (h/d=0,658)

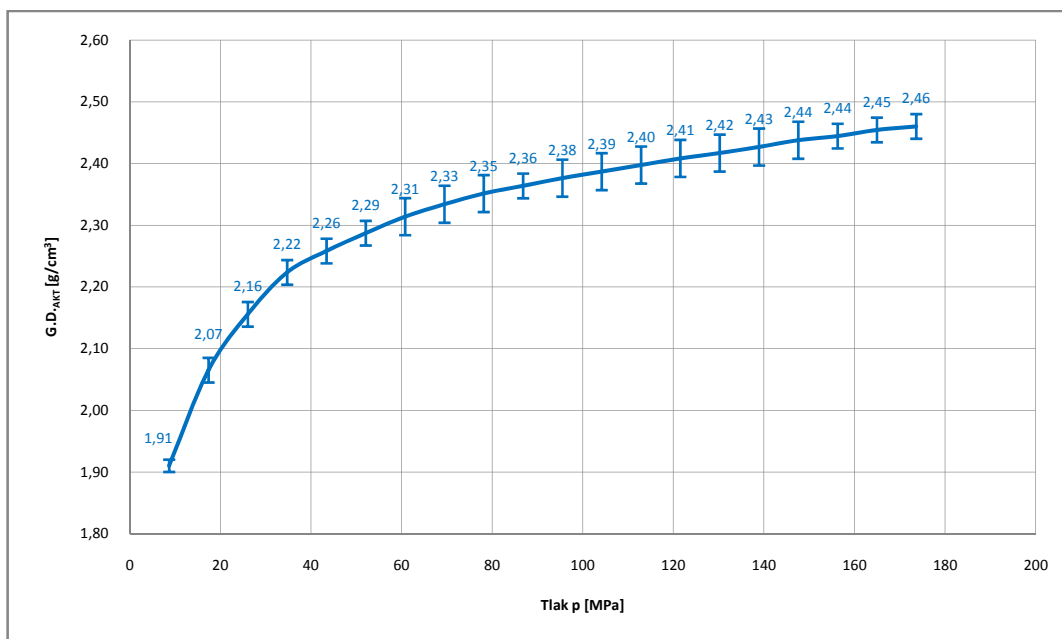


Obr. 7.29: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – NM9922F (h/d=0,658)

Příloha č. 24

Vzorky č.10 - NM9922F ($h/d = 0,403$) - Stlačení x [mm]										
p [MPa]	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,68	2,02	2,05	2,03	2,03	2,03	2,04	2,03	2,03	2,04	2,00
17,36	2,23	2,26	2,24	2,24	2,24	2,25	2,24	2,24	2,26	2,21
26,04	2,32	2,38	2,35	2,35	2,35	2,34	2,35	2,36	2,37	2,33
34,72	2,37	2,47	2,43	2,43	2,42	2,43	2,43	2,46	2,43	2,39
43,40	2,40	2,50	2,46	2,47	2,46	2,47	2,46	2,52	2,46	2,43
52,08	2,42	2,53	2,49	2,50	2,49	2,51	2,49	2,56	2,48	2,46
60,76	2,44	2,56	2,52	2,53	2,52	2,54	2,52	2,59	2,50	2,48
69,44	2,46	2,58	2,54	2,55	2,54	2,56	2,54	2,61	2,52	2,50
78,13	2,48	2,60	2,56	2,56	2,56	2,58	2,56	2,62	2,53	2,52
86,81	2,50	2,61	2,57	2,57	2,57	2,60	2,57	2,63	2,54	2,53
95,49	2,51	2,62	2,58	2,59	2,58	2,62	2,58	2,64	2,55	2,54
104,17	2,52	2,63	2,59	2,60	2,59	2,63	2,59	2,65	2,56	2,55
112,85	2,53	2,64	2,60	2,61	2,60	2,64	2,60	2,66	2,57	2,56
121,53	2,54	2,65	2,61	2,62	2,61	2,65	2,61	2,67	2,58	2,57
130,21	2,55	2,66	2,62	2,62	2,62	2,65	2,62	2,68	2,59	2,58
138,89	2,56	2,67	2,63	2,63	2,63	2,66	2,63	2,68	2,60	2,59
147,57	2,57	2,68	2,64	2,64	2,64	2,67	2,64	2,69	2,61	2,60
156,25	2,58	2,68	2,65	2,65	2,64	2,68	2,64	2,70	2,62	2,60
164,93	2,59	2,69	2,66	2,66	2,65	2,69	2,65	2,70	2,63	2,61
173,61	2,59	2,69	2,66	2,66	2,66	2,69	2,66	2,71	2,64	2,62
Hmotnost [g]	0,61	0,60	0,61	0,61	0,61	0,60	0,61	0,60	0,61	0,61
Výška vzorku [mm]	2,33	2,25	2,27	2,29	2,27	2,25	2,30	2,21	2,30	2,30
Průměr vzorku [mm]	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04	12,04
G.D. [g/cm ³]	2,30	2,34	2,36	2,34	2,36	2,34	2,33	2,38	2,33	2,33

Tab. 7.20: Naměřené hodnoty stlačení – NM9922F ($h/d=0,403$)

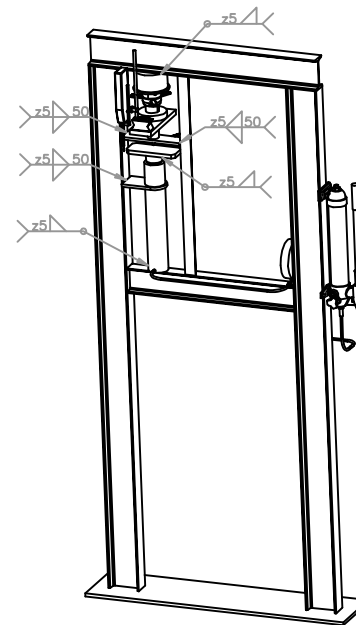
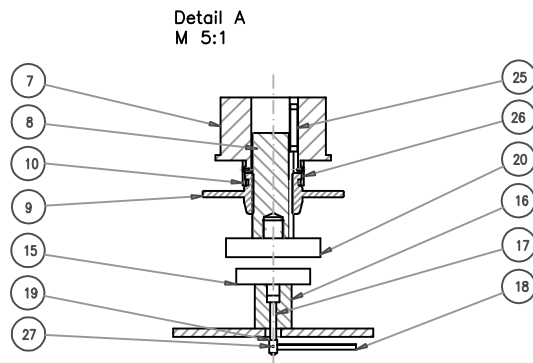
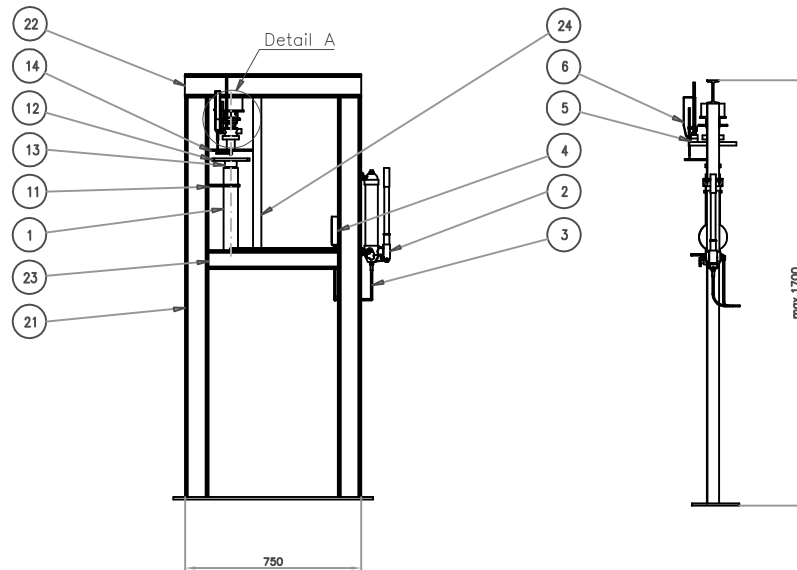


Obr. 7.30: Závislost $G.D._{AKT}$ na lisovacím tlaku – NM9922F ($h/d=0,403$)

Příloha č. 25

Materiál	Vzorek č.	h [mm]	d [mm]	m [g]	F.D. [g/cm ³]	Materiál	Vzorek č.	h [mm]	d [mm]	m [g]	F.D. [g/cm ³]
9922F	1	4,10	10,03	1,25	3,870	9922F- 0,633	1	3,10	10,03	0,95	3,881
	2	4,10	10,03	1,25	3,872		2	3,08	10,04	0,94	3,880
	3	4,18	10,02	1,27	3,871		3	3,12	10,04	0,95	3,888
	4	4,16	10,04	1,26	3,870		4	3,08	10,04	0,94	3,886
	5	4,14	10,04	1,26	3,875		5	3,07	10,04	0,93	3,887
	6	4,13	10,04	1,25	3,876		6	3,04	10,04	0,93	3,881
	7	4,12	10,02	1,25	3,878		7	3,09	10,04	0,94	3,887
	8	4,14	10,03	1,25	3,881		8	3,09	10,04	0,94	3,882
	9	4,13	10,03	1,25	3,874		9	3,06	10,04	0,93	3,886
	10	4,12	10,03	1,25	3,875		10	3,05	10,03	0,93	3,887
8434	1	4,46	10,05	1,36	3,861	9922F- 0,405	1	1,94	10,04	0,58	3,900
	2	4,45	10,04	1,36	3,855		2	1,88	10,03	0,57	3,905
	3	4,53	10,05	1,36	3,853		3	1,90	10,04	0,58	3,892
	4	4,50	10,05	1,36	3,855		4	1,91	10,04	0,58	3,890
	5	4,46	10,05	1,35	3,853		5	1,89	10,04	0,58	3,897
	6	4,41	10,05	1,34	3,863		6	1,88	10,05	0,58	3,897
	7	4,42	10,05	1,36	3,865		7	1,92	10,04	0,58	3,905
	8	4,43	10,06	1,34	3,871		8	1,84	10,03	0,58	3,901
	9	4,41	10,06	1,35	3,860		9	1,92	10,04	0,57	3,902
	10	4,45	10,05	1,34	3,858		10	1,92	10,04	0,58	3,903
8435	1	4,43	10,04	1,36	3,866	frakce 50 - 100	1	4,12	10,04	1,25	3,858
	2	4,46	10,05	1,36	3,866		2	4,14	10,04	1,25	3,860
	3	4,45	10,05	1,35	3,869		3	4,13	10,04	1,25	3,861
	4	4,45	10,05	1,35	3,867		4	4,18	10,04	1,26	3,860
	5	4,47	10,04	1,37	3,866		5	4,06	10,04	1,24	3,854
	6	4,43	10,04	1,35	3,874		6	4,12	10,04	1,25	3,856
	7	4,44	10,04	1,36	3,868		7	4,13	10,04	1,26	3,855
	8	4,47	10,05	1,38	3,873		8	4,14	10,04	1,26	3,868
	9	4,45	10,05	1,36	3,868		9	4,16	10,04	1,27	3,860
	10	4,48	10,05	1,36	3,867		10	4,09	10,04	1,25	3,868
8430	1	4,28	10,05	1,31	3,864	frakce 50 - 125	1	4,16	10,01	1,26	3,860
	2	4,37	10,05	1,33	3,869		2	4,12	10,01	1,26	3,859
	3	4,40	10,04	1,34	3,870		3	4,14	10,00	1,26	3,860
	4	4,41	10,05	1,34	3,873		4	4,18	10,01	1,26	3,862
	5	4,44	10,05	1,34	3,870		5	4,10	10,01	1,25	3,864
	6	4,41	10,04	1,34	3,881		6	4,16	10,00	1,26	3,863
	7	4,34	10,05	1,32	3,872		7	4,13	10,00	1,27	3,864
	8	4,35	10,05	1,33	3,869		8	4,14	10,02	1,26	3,862
	9	4,38	10,04	1,32	3,870		9	4,07	10,00	1,26	3,863
	10	4,39	10,05	1,33	3,871		10	4,07	10,01	1,26	3,861
8426	1	4,31	10,06	1,31	3,866	frakce 63 - 125	1	4,01	10,05	1,22	3,862
	2	4,39	10,04	1,33	3,866		2	4,06	10,06	1,23	3,865
	3	4,38	10,04	1,33	3,867		3	4,06	10,05	1,24	3,861
	4	4,29	10,06	1,31	3,870		4	4,03	10,05	1,23	3,858
	5	4,34	10,05	1,31	3,868		5	4,06	10,05	1,24	3,860
	6	4,28	10,05	1,32	3,869		6	3,98	10,05	1,23	3,858
	7	4,38	10,04	1,33	3,867		7	4,04	10,05	1,24	3,855
	8	4,34	10,06	1,32	3,867		8	4,04	10,05	1,22	3,860
	9	4,30	10,05	1,31	3,868		9	4,00	10,04	1,23	3,860
	10	4,28	10,05	1,32	3,866		10	4,02	10,05	1,23	3,858

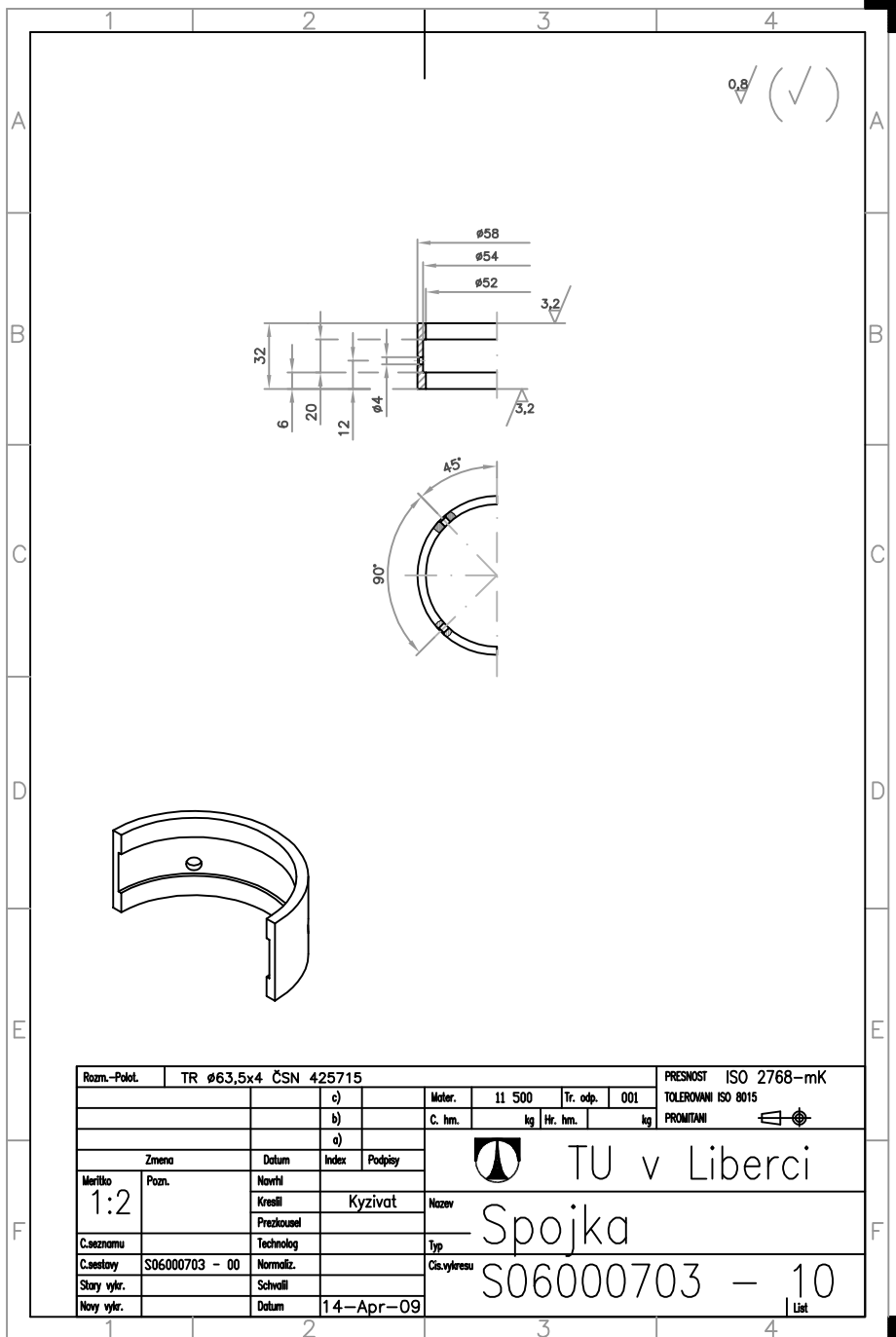
Tab. 7.21: Naměřené hodnoty po výpalu – vzorky z průběhu lisování

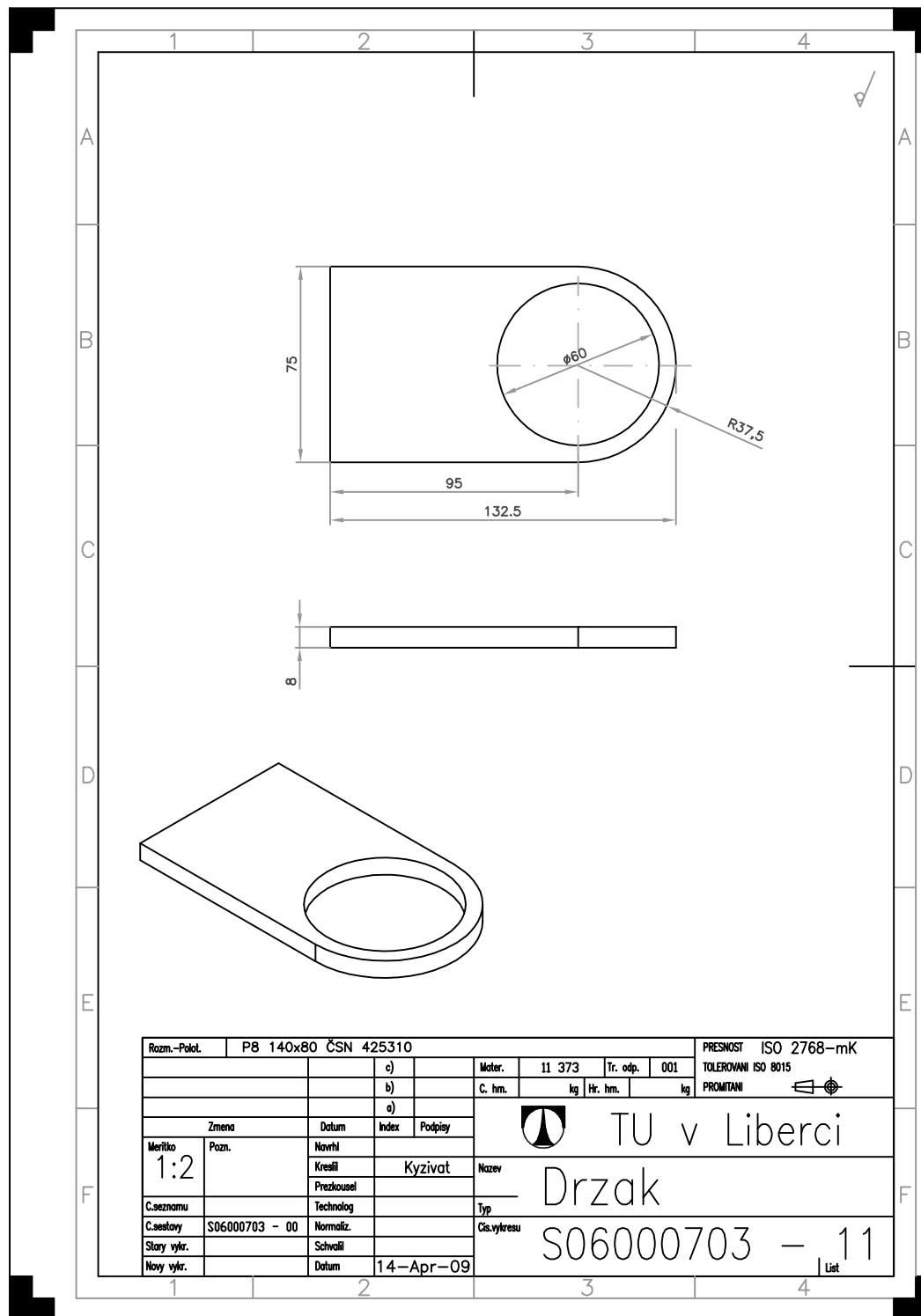




27	Stavecí šroub M2.5x2.5	CSN EN 24766	2
26	Šroub M4x6	CSN EN ISO 2009	4
25	Pero 10x70x50	CSN 022562	1
24	L 35x4 - 650	CSN 4255541	1
23	I 100/A 550	CSN 4255550	1
22	I 100/A 750	CSN 4255550	1
21	I 100/A 1700	CSN 4255550	2
20	Opěrná	ø95 - 40 CSN 425510	1
19	Nákrutek	TR DN 6 CSN 420142	1
18	Odměřovací tyčka	P2 200x40 CSN 425310	1
17	Plast	ø15 - 60 CSN 426519	1
16	Forma	ø40 - 45 CSN 426519	1
15	Pomozná deska	P16 205x75 CSN 425310	1
14	Podpěrná deska	PB 195x55 CSN 425310	2
13	Nákrutek	TR ø51x3,2 CSN 425715	1
12	Deska	P12 165x70 CSN 425310	1
11	Držák	PB 140x60 CSN 425310	1
10	Spojka	TR ø63,5x4 CSN 425715	2
9	Matice	42 2410	1
8	Šroub	ø45 - 110 CSN 425510	1
7	Těleso	ø120 - 65 CSN 425510	1
6	Ochycovací	11 373	1
5	Magnetický otočník		1
4	Manometr		1
3	Hydraulický rozvod		1
2	Hydraulická pumpa		1
1	Hydraulický válec		1
001	OVNČENÍ	POLITOVNÍ	CS. JACOVSKÝ
	VÝKRES	MATEŘAL	PODVOJKA

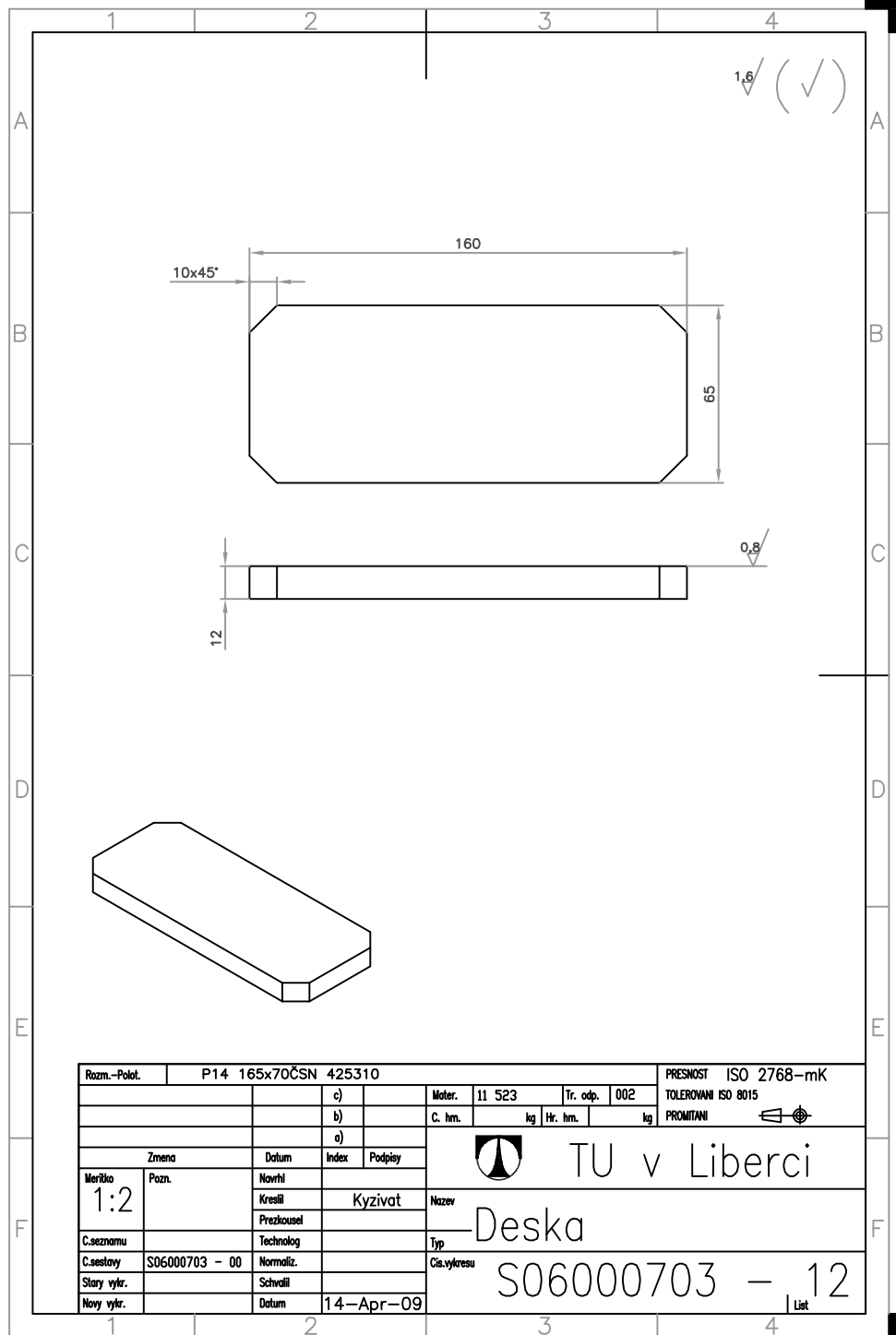
Stav	1:10	Stav	1:10	Stav	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10
Číslo	1:10	Číslo	1:10	Číslo	1:10

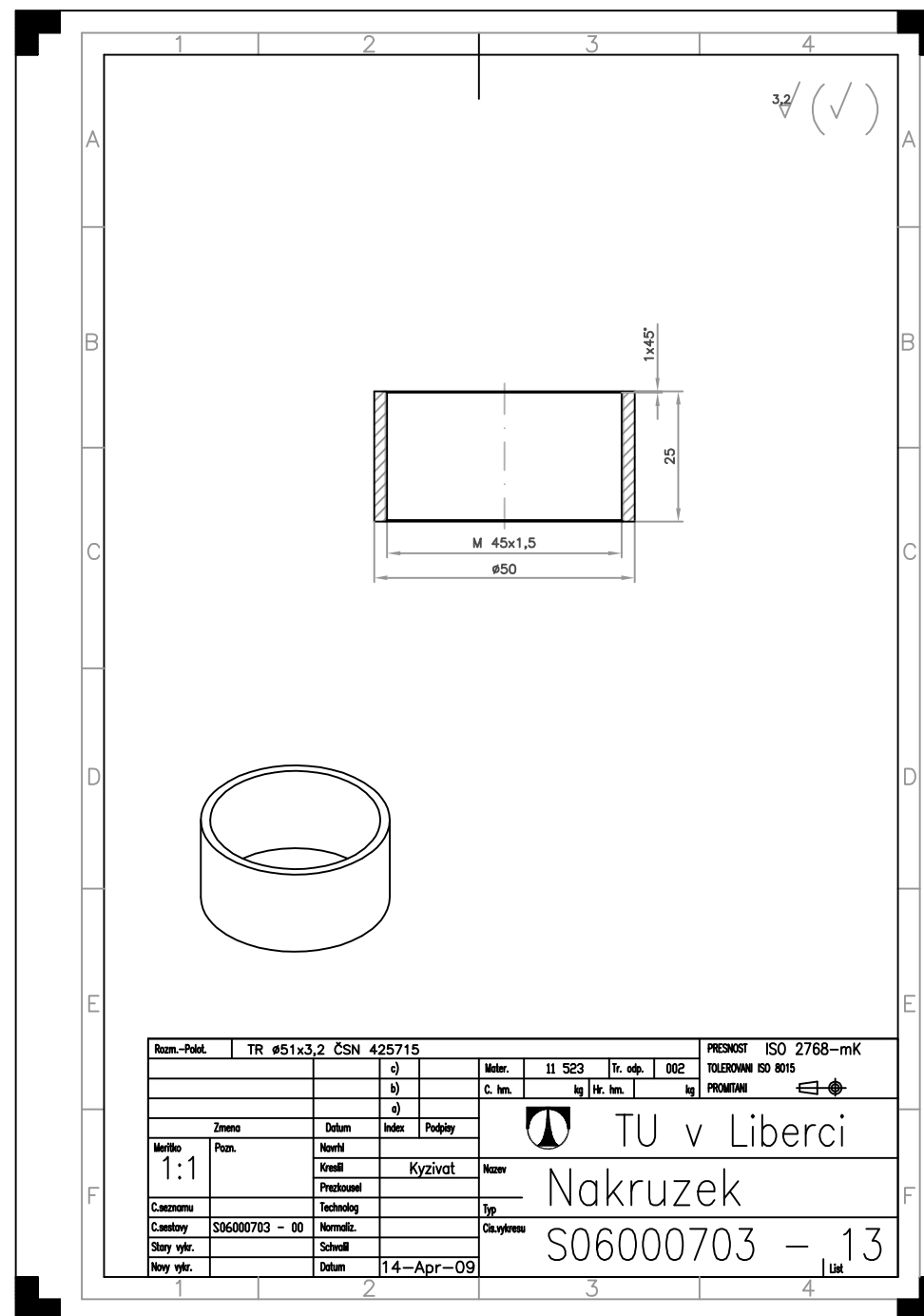
TU v Liberci
SESTAVA
S06000703-00

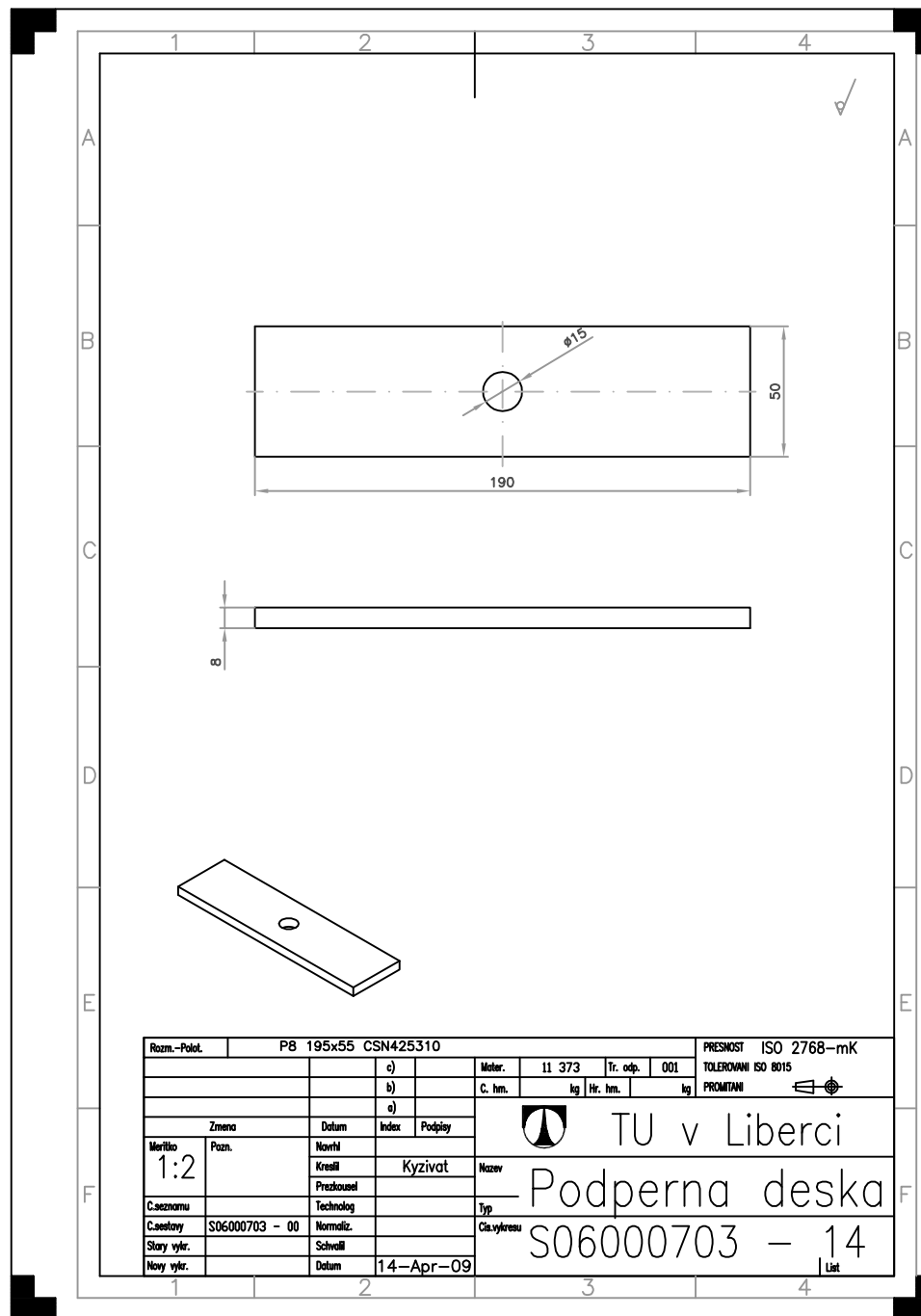






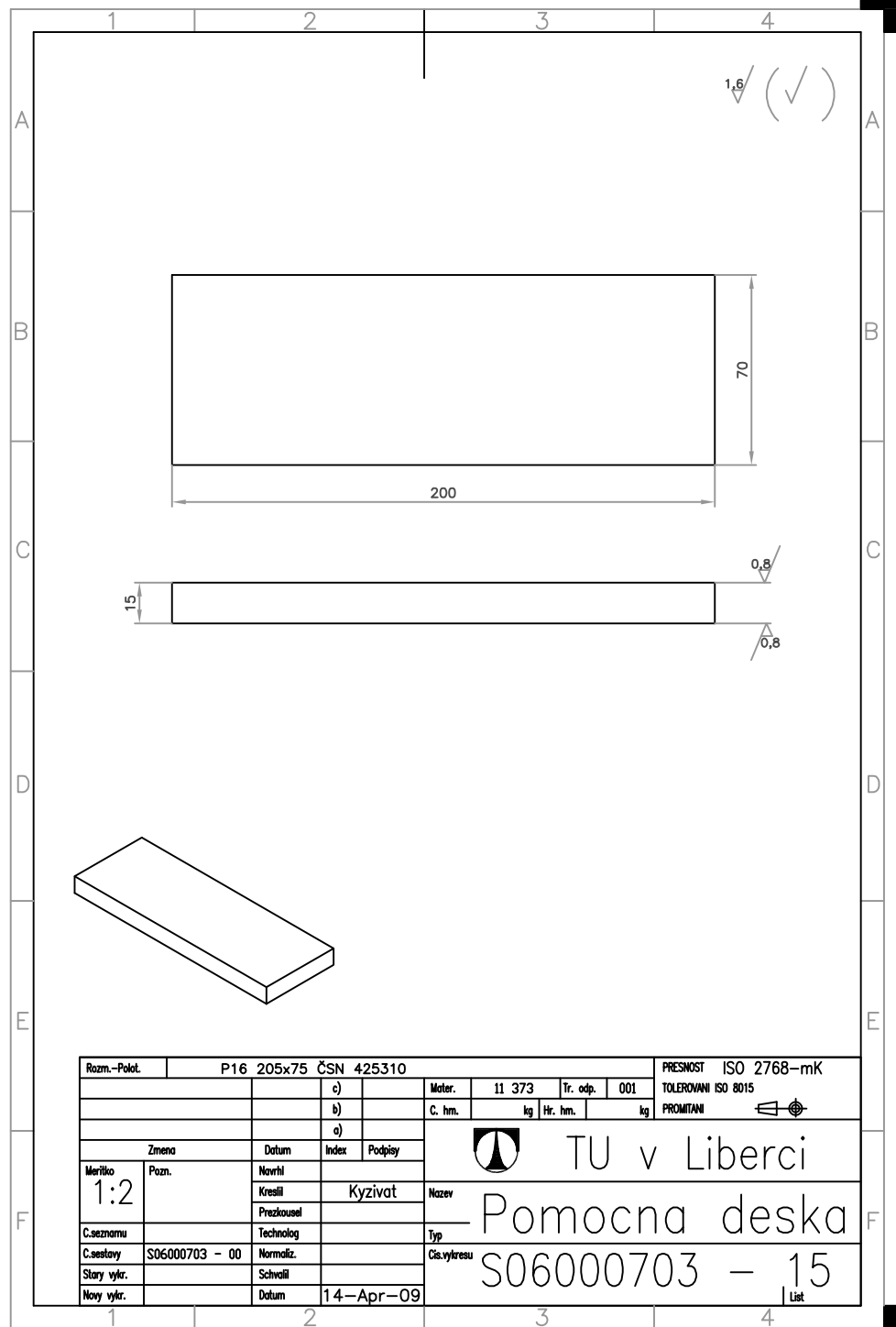
Rozm.-Polot.		P8 140x80 ČSN 425310				PRESNOST ISO 2768-mK		
		c)		Mat.	11 373	Tr. odp.	001	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		b)		C. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMĚTÁNÍ 
		a)						
Zmena		Datum	Index	Podpis	 TU v Liberci			
Meritko	Pozn.	Navrh						
1:2		Kresil	Kyzivat		Nazev	Drzak		
		Prezkoušel						
C.seznamu		Technolog			Typ	S06000703 - 11		
C.sestavy	S06000703 - 00	Normaliz.			Cis.vykresu			
Stary vykr.		Schválil						
Novy vykr.		Datum	14-Apr-09			Liet		

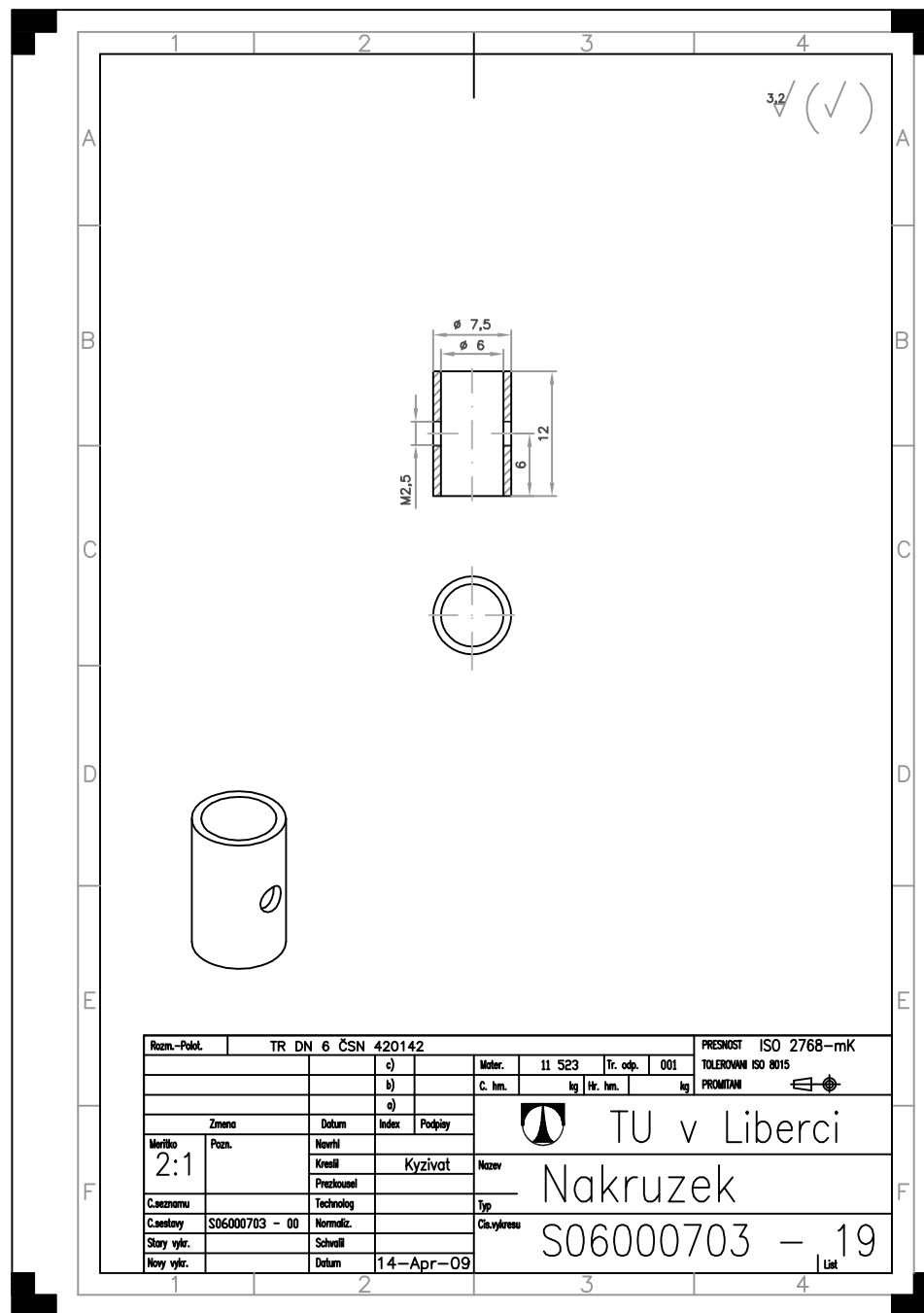


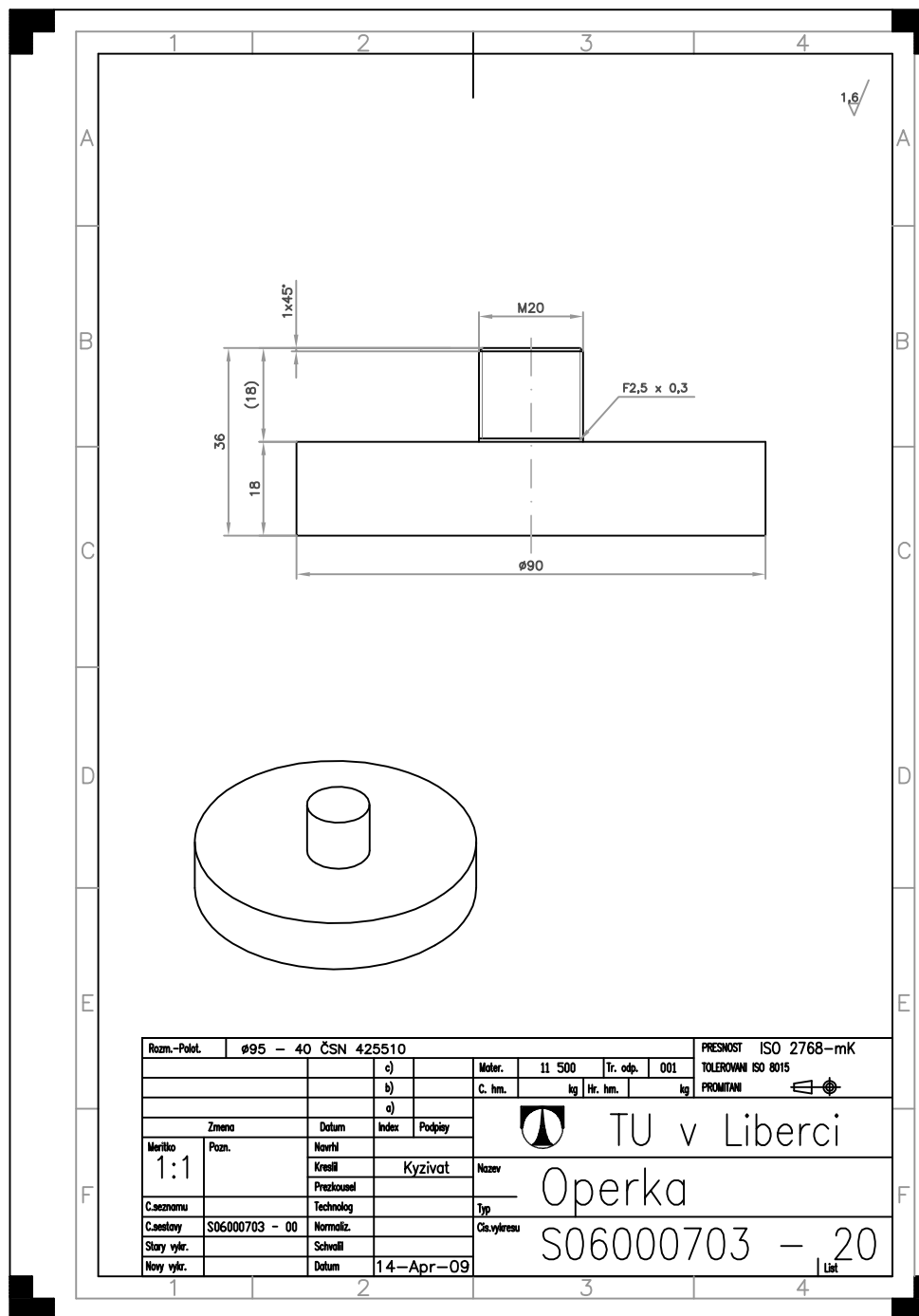


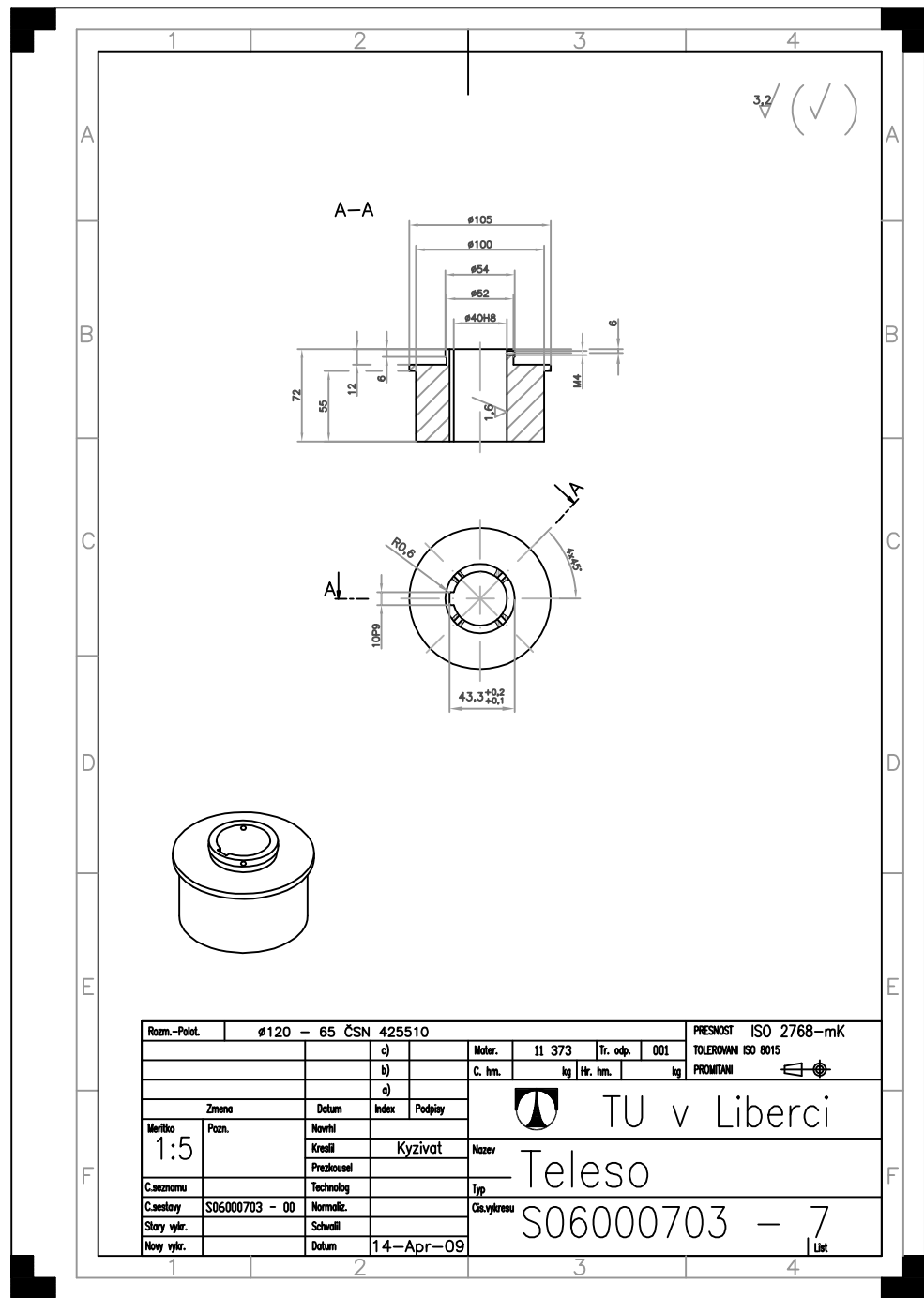


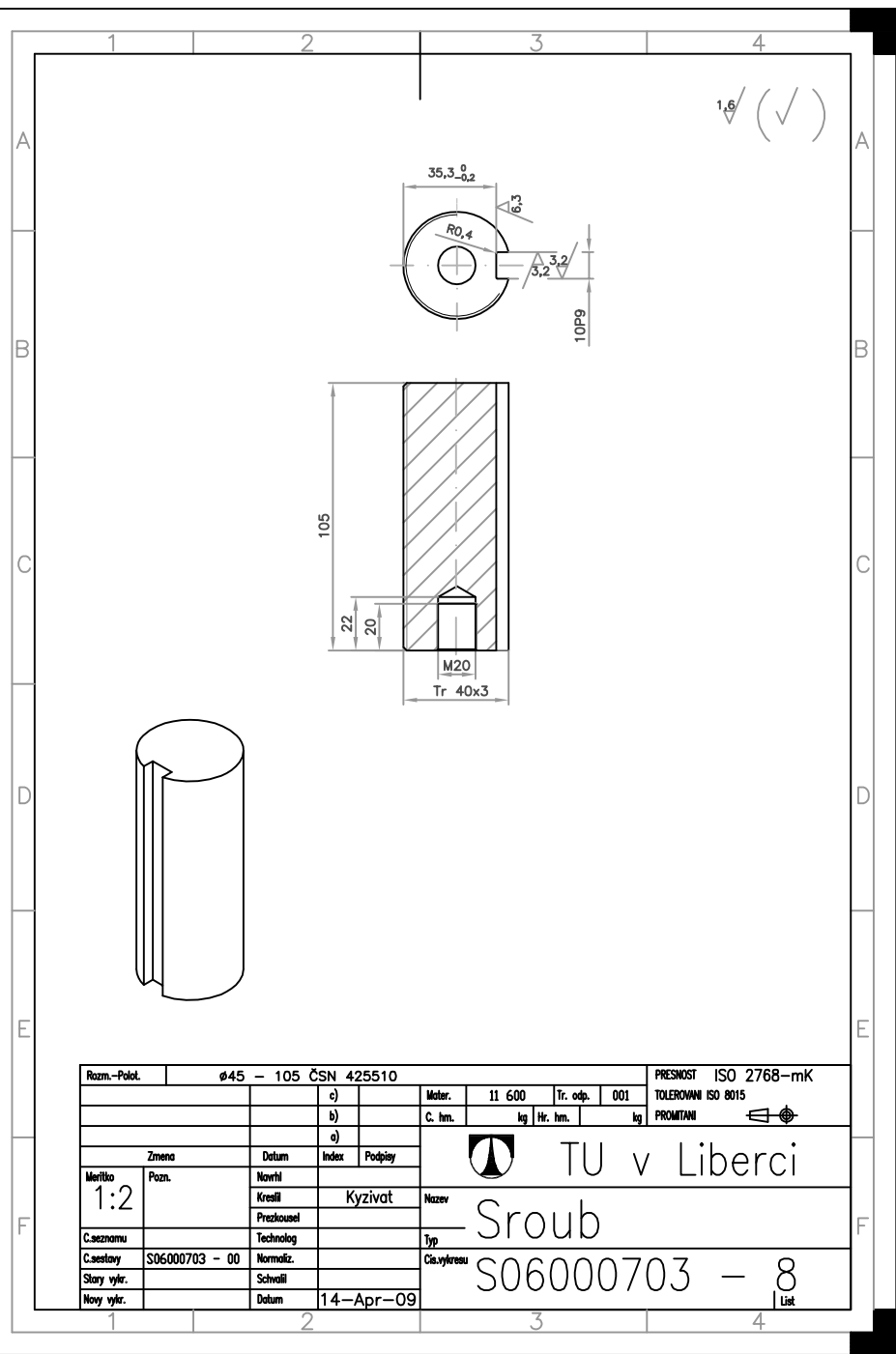
Rozm.-Počet.		P8 195x55 CSN425310					PRESNOST ISO 2768-mK							
		c)				Mater.	11 373	Tr. odp.	001	TOLEROVANI ISO 8015				
		b)				C. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMITANI 				
		a)				 TU v Liberci								
Zmena		Datum		Index							Podpis			
Meritko		Pozn.		Novohl							Kyzivat		Nazev	
1:2				Kreslil									— Podperna deska	
				Prezkouset										
Caseznamu				Technolog									Typ	
Caseznamu		S06000703 - 00		Normaliz.									Sta.vykresu	
Stary vykr.				Schvalil									S06000703 - 14	
Novy vykr.				Datum		14-Apr-09		List						

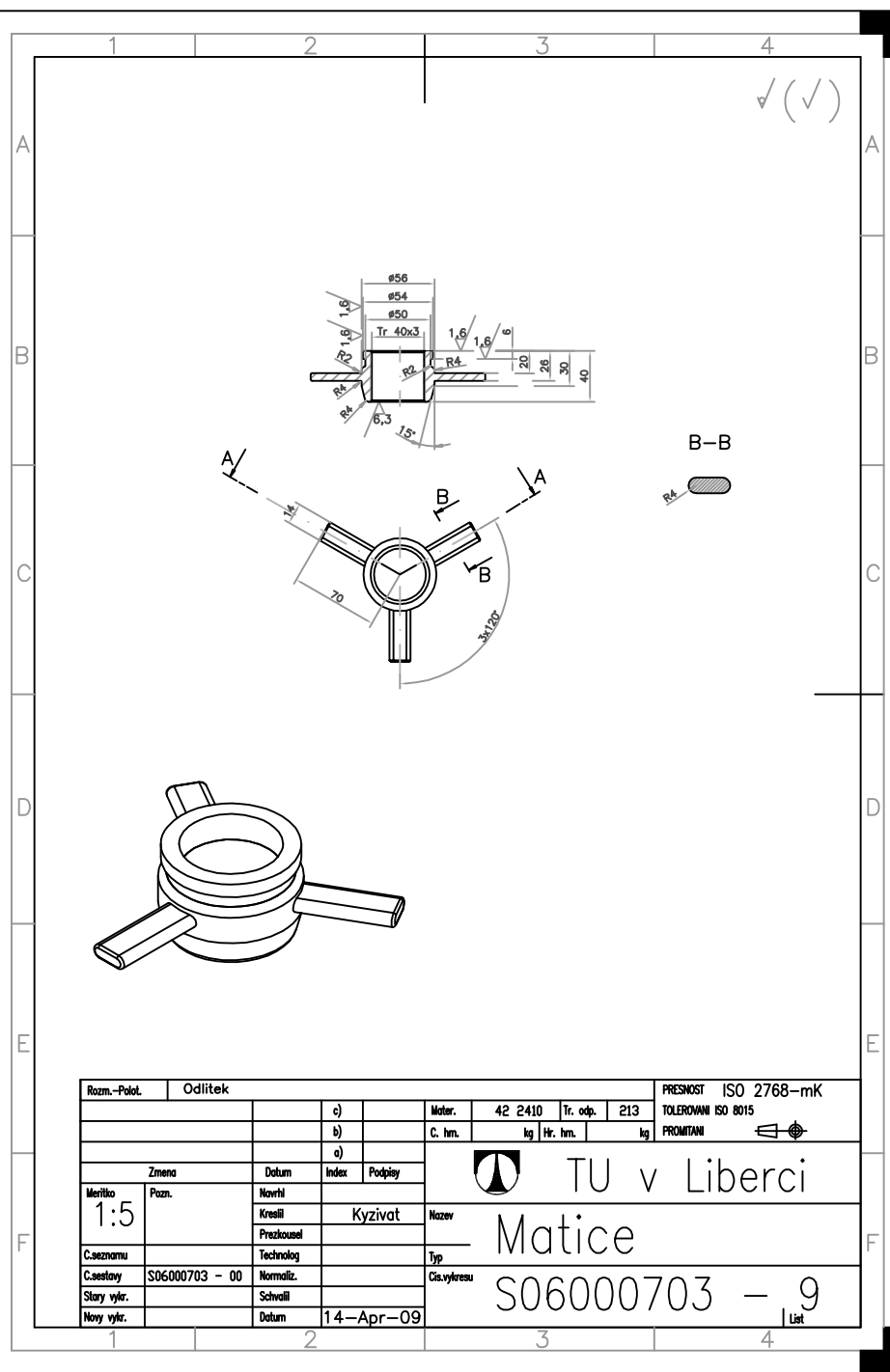













Rozm.-Polot.		Odlitek				PRESNOST ISO 2768-mK	
		c)		Mat.	42 2410	Tr. odp.	213
		b)		C. hm.	kg	Hr. hm.	kg
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpis	TU v Liberci		
Meritko	Pozn.	Navrh	Kyzivat		Nazev	Matic	
1:5		Kresil			Typ		
		Prezkoušel			Cis.vykresu		
C.seznamu		Technolog					
C.sestavy	S06000703 - 00	Normaliz.					
Stary vykr.		Schvalil					
Novy vykr.		Datum	14-Apr-09				
						S06000703 - 9	
						List	